



TUGAS AKHIR - SF141501

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *SPLITTER*  
*POF MULTIMODE* SEBAGAI *POWER DIVIDER*  
MENGUNAKAN PERGESERAN MIKRO**

**RIZKY FIRMANSYAH**  
**NRP. 01111440000058**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Gatut Yudoyono, M.T.**  
**Sudarsono, S.Si., M.Si.**

**Departemen Fisika**  
**Fakultas Ilmu Alam**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - SF141501

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *SPLITTER*  
*POF MULTIMODE* SEBAGAI *POWER DIVIDER*  
MENGUNAKAN PERGESERAN MIKRO**

**RIZKY FIRMANSYAH  
NRP. 01111440000058**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Gatut Yudoyono, M.T.  
Sudarsono, S.Si., M.Si.**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - SF141501**

# **FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF POF MULTIMODE SPLITTER AS POWER DIVIDER USING A MICRO-SHIFT**

**RIZKY FIRMANSYAH**  
**NRP. 01111440000058**

**Advisor**  
**Dr. Gatut Yudoyono, M.T.**  
**Sudarsono, S.Si., M.Si.**

**Department of Physics**  
**Faculty of Science**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *SPLITTER POF*  
*MULTIMODE* SEBAGAI *POWER DIVIDER*  
MENGUNAKAN PERGESERAN MIKRO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar

Sarjana Sains

Pada

Bidang Studi Optoelektronika

Program Studi S-1 Departemen Fisika

Fakultas Ilmu Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZKY FIRMANSYAH**

**NRP 01111440000058**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**

**Dr. Gatut Yudoyono, M.T.**

NIP. 19640616 198903.1.004

**Sudarsono, S.Si., M.Si.**

NIP. 1100201301002



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *SPLITTER POF*  
MULTIMODE SEBAGAI *POWER DIVIDER* MENGGUNAKAN  
PERGESERAN MIKRO**

**Nama : Rizky Firmansyah**  
**NRP : 01111440000058**  
**Jurusan : Fisika, FIA ITS**  
**Pembimbing : Dr. Gatut Yudoyono, M.T.  
Sudarsono, S.Si., M.Si.**

**Abstrak**

Serat optik plastik telah banyak dimanfaatkan karena serat optik plastik memiliki keistimewaan yaitu ringan, tahan terhadap interferensi elektromagnetik, aman dari percikan api, gas, dan bahan kimia beracun, sensitivitas, dan *bandwidth* yang tinggi. Keistimewaan tersebut membuat *splitter* banyak dikembangkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan antara lain komunikasi dan sensor. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik *Misangular Alignment* dan *Lateral Displacement* pada masukan serat optik di titik persambungan. Fabrikasi *Splitter* dilakukan dengan menempatkan tiga serat optik plastik membentuk struktur Y pada substrat Akrilik yang telah diukir menggunakan Baisheng Laser CNC. Pembagi berkas cahaya (*Beam Splitter*) pada 3-dB (50:50) *Splitter* ini terjadi pada pergeseran 0,40 mm dengan *coupling ratio* 50,32% untuk keluaran serat optik 2 dan 49,67% untuk keluaran serat optik 1 dengan *loss* sebesar 4,64 dB.

***Kata kunci: Misangular alignment, lateral displacement, pergeseran mikro, serat optik***

# **FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF POF MULTIMODE SPLITTER AS POWER DIVIDER USING A MICRO-SHIFT**

**Author** : Rizky Firmansyah  
**Student Identity** : 01111440000058  
**Department** : Physics, Faculty of Science ITS  
**Supervisor** : Dr. Gatut Yudoyono, M.T.  
Sudarsono, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

Plastic optical fibers (POF) have been widely utilized because plastic optical fibers have the features of being lightweight, resistant to electromagnetic interference, safe from sparks, gases, and toxic chemicals, high sensitivity and bandwidth. The specialty makes *Splitter* much developed to meet various needs such as communication and sensors. This research was conducted by using Misangular Alignment and Lateral Displacement technique at optical fiber input at the junction. The *Splitter* fabrication is done by placing three plastic optical fibers forming a Y structure on an Acrylic substrate that has been carved using a Baisheng Laser CNC. The beam *Splitter* at 3-dB (50:50) this *Splitter* occurs at a shift of 0.40 mm with a coupling ratio of 50.32% for optical fiber output 2 and 49.67% for optical fiber output 1 with a loss of 4.64 dB.

**Keywords:** *Misangular alignment, lateral displacement, microshift, optical fiber*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Fisika FIA ITS dengan judul:

**“FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *SPLITTER POF*  
*MULTIMODE* SEBAGAI *POWER DIVIDER*  
MENGGUNAKAN PERGESERAN MIKRO”**

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.
2. Bapak Hanafi dan Ibu Juma'iyah selaku orang tua, dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan moral dan spiritual kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Gatut Yudoyono, M.T. dan Bapak Sudarsono, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing dalam Tugas Akhir ini yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Melania Suweni Muntini M.T. selaku dosen wali yang selalu memberikan dukungan dan bimbingan kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. selaku Kepala Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam (FIA) ITS yang telah menyediakan fasilitas pendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh Staff Pengajar di Departemen Fisika ITS, Kepala Laboratorium Optik, dan juga segenap staff Tata Usaha yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat seperjuangan penulis antara lain Taufik, mbak Adha, mbak Wafa, mbak Nura, mbak Astrid, mbak Puput, mbak Clarissa, Ibu Nurma, Mbak Imma, Taufik, Fauzi dan Agung dan masih banyak lagi sahabat seperjuangan penulis yang telah membantu dan memotivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan penuh suka dan duka.
8. Teman-teman seangkatan yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang telah memberikan semangatnya kepada penulis selama kuliah hingga pengerjaan Tugas Akhir.
9. Sahabat-sahabat penulis yaitu Taufik, Cahyo, Aripin, Siska, Nadia, dan Ovi yang telah memberikan dukungan dan tempat untuk penulis berbagi cerita selama perkuliahan dan mbak Chetie Fisika 2008 yang telah meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu dengan penulis.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk dapat mengembangkan ilmu yang berkaitan dengan fotonika terutama serat optik.

Surabaya, Mei 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv

## BAB I PENDAHULUAN .....1

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	3

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....5

2.1 Serat Optik.....	5
2.2 Pemantulan Internal Total.....	7
2.3 Persamaan Pandu Gelombang Silinder (Serat Optik).....	10
2.4 <i>Splitter</i> .....	15

## BAB III METODOLOGI.....25

3.1 Alat dan Bahan .....	25
3.2 Diagram Kerja Penelitian .....	26
3.3 Perancangan Desain Cetakan.....	27
3.4 Fabrikasi Cetakan .....	28

3.5	Pemolesan Cetakan.....	28
3.6	Pengupasan <i>Coating</i> Serat Optik.....	29
3.7	Fabrikasi <i>Splitter</i> .....	30
3.8	Karakterisasi <i>Splitter</i> .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>37</b>
4.1	Analisis Diameter <i>Core</i> dan <i>Cladding</i> Serat Optik .....	37
4.2	Analisis <i>Lateral Displacement</i> dan <i>Misangular Alignment</i> .....	39
4.3	Analisis Grafik Hubungan antara Intensitas Cahaya dengan Pergeseran Mikro Hasil Pengukuran Menggunakan Luxmeter.....	41
4.4	Analisis Rugi Daya pada <i>Splitter</i> .....	49
4.5	Analisis Citra.....	55
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>65</b>
<b>Lampiran 1</b>	Data Pengukuran Intensitas Cahaya (lux) Setiap Pergeseran (mm) .....	<b>65</b>
<b>Lampiran 2</b>	Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 Setiap Pergerakan .....	<b>68</b>
<b>Lampiran 3</b>	<i>Datasheet</i> BF5R-D1-N.....	<b>74</b>
<b>Lampiran 4</b>	<i>Datasheet</i> Fiber Optic FD-620-10 .....	<b>89</b>
<b>Lampiran 5</b>	<i>Datasheet</i> Luxmeter VICTOR 1010A .....	<b>90</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Distribusi Indeks Bias dan Moda yang Menjalari di dalam Serat Optik.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Refleksi dan Refraksi Berkas Cahaya pada Bidang Batas Dua Medium.....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Perambatan Sinar pada Serat Optik <i>Step Index</i> .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Geometri Serat Optik dalam Koordinat Silinder .	11
<b>Gambar 2.5</b>	Distribusi Amplitudo Medan di <i>Core</i> dan <i>Cladding</i> untuk Orde 0 dan 1 .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Penampang Lintang dari <i>Y-Coupler</i> .....	15
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Overlapped Area</i> di antara Serat Optik Identik ...	16
<b>Gambar 2.8</b>	Juring Lingkaran .....	17
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Coupling Ratio</i> .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	<i>Lateral Displacement</i> antara Serat Optik 0 dan Serat Optik 2 .....	22
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Misangular Alignment</i> antara Serat Optik 0 dan Serat Optik 1 .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>Gambar 3.2</b>	Desain <i>Splitter</i> .....	27
<b>Gambar 3.3</b>	Desain Alur Lekukan <i>Splitter</i> .....	27
<b>Gambar 3.4</b>	Pengukiran Cetakan dengan Baisheng Laser CNC .....	28
<b>Gambar 3.5</b>	Pengupasan <i>Coating</i> Serat Optik .....	29
<b>Gambar 3.6</b>	Lubang pada Pelat Tipis Aluminium .....	30
<b>Gambar 3.7</b>	(a) <i>Set-up Splitter</i> (b) Rangkaian Poros Geser dari Mikrometer dengan substrat <i>Acrylic</i> .....	31
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Set-up</i> Alat Pengambilan Data Masukan Cahaya menggunakan Luxmeter .....	32
<b>Gambar 3.9</b>	BF5R-D1-N .....	33
<b>Gambar 3.10</b>	Luxmeter .....	34

<b>Gambar 3.11</b>	<i>Set-up</i> Alat Pengambilan Data Menggunakan Luxmeter .....	36
<b>Gambar 3.12</b>	<i>Set-up</i> Alat Pengambilan Data Citra .....	36
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Coating</i> Serat Optik yang Terkelupas .....	37
<b>Gambar 4.2</b>	Proses Pengamatan Diameter Gabungan <i>Core</i> dan <i>Cladding</i> Menggunakan Mikroskop Cahaya.....	38
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Pengamatan Diameter Gabungan <i>Core</i> dan <i>Cladding</i> .....	39
<b>Gambar 4.4</b>	Mikrometer dengan Ketelitian 0,01 mm .....	39
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Angular Misalignment</i> dari Masukan Serat Optik ke Keluaran Serat Optik dengan Gap sebesar S.....	40
<b>Gambar 4.6</b>	Posisi Keluaran Serat Optik 1 dan 2.....	41
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Hubungan Intensitas (Lux) dengan Pergeseran (mm) .....	43
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Hubungan <i>Coupling Ratio</i> (%) dengan Pergeseran (mm) .....	44
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Hasil Simulasi dari Persamaan (2.33).....	47
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Hasil <i>Fitting Data</i> antara Simulasi dengan Eksperimen.....	48
<b>Gambar 4.11</b>	Sudut Penerimaan Maksimum Serat Optik Plastik .....	51
<b>Gambar 4.12</b>	<i>Coupling Loss</i> pada <i>Non-Overlapping Area</i> .....	52
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Hubungan Pergeseran Mikro dengan <i>Insertion Loss</i> (dB).....	53
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik Hubungan Pergeseran Mikro dengan <i>Excess Loss</i> (dB) .....	54
<b>Gambar 4.15</b>	Citra Tanpa Layar .....	55
<b>Gambar 4.16</b>	Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 .....	56

**Gambar 4.17** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0 mm .....57

**Gambar 4.18** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,40 mm .....58

**Gambar 4.19** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,65 mm .....59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi BF5R-D1-N .....	33
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Koefisien Korelasi .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Data Pengukuran Intensitas Cahaya (lux) .....	65
Grafik Intensitas Citra Keluaran .....	68
<i>Datasheet</i> BF5R-D1-N .....	74
<i>Datasheet Fiber Optic</i> FD-620-10 .....	89
<i>Datasheet</i> Luxmeter .....	90

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia telekomunikasi yang semakin maju di era globalisasi saat ini menuntut semua kalangan masyarakat untuk mendapatkan informasi sebanyak-banyaknya. Untuk memenuhi lonjakan informasi yang semakin meningkat tiap detiknya, maka diperlukan sistem komunikasi yang tangguh dan cepat dalam jarak dekat maupun jauh. Salah satu media transmisi yang mampu memenuhi keadaan tersebut adalah serat optik.

Serat optik plastik telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti bidang kesehatan, telekomunikasi, elektronika, otomotif, penerbangan karena serat optik plastik memiliki keistimewaan yakni ringan, tahan terhadap interferensi elektromagnetik, keamanan tinggi, sensitivitas tinggi, dan *bandwidth* tinggi (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017).

Sistem komunikasi serat optik jarak jauh sebagian besar menggunakan serat optik silika moda tunggal dengan diameter *core* 4-10  $\mu\text{m}$  dan *cladding* 125  $\mu\text{m}$ . Serat optik silika moda tunggal mempunyai kecepatan transmisi data dan *bandwith* yang tinggi tetapi memerlukan biaya yang cukup mahal dalam proses fabrikasi dan pengujian (Kumar and Machavaram, 2016). Untuk menekan biaya yang tinggi, maka serat optik plastik moda jamak banyak digunakan dalam sistem komunikasi jarak pendek seperti interkoneksi optik dan *local area network* (LAN) (Abd-Rahman et al., 2011). Karena jaringan rumah dan penggunaan sensor serat optik yang meluas secara cepat, maka permintaan *Splitter* serat optik plastik moda jamak juga semakin tinggi (Prajzler et al.,



2014). Sebagian besar *Splitter* pasif hanya dapat menghasilkan proporsi daya keluaran sebesar 50:50% dan 90:10% (Powers, 1996). Seiring dengan perkembangan zaman, *Splitter* tidak hanya dibutuhkan pada teknologi telekomunikasi tetapi *Splitter* juga dapat dimanfaatkan pada teknologi sensor. Pengaturan daya keluaran pada *Splitter* aktif menghasilkan banyak variasi proporsi daya keluaran sehingga dapat digunakan untuk memperoleh pola *fringe* pada detektor untuk aplikasi sensor kekasaran suatu permukaan. Selain itu, pengaturan daya keluaran pada *Splitter* aktif dapat digunakan untuk mengetahui tingkat konsentrasi suatu sampel melalui pengukuran level daya. Hal tersebut yang melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian tentang *Splitter* yang dapat diatur daya keluarannya melalui pergeseran mikro.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Berikut beberapa rumusan masalah yang muncul dari latar belakang penelitian Tugas Akhir ini:

1. Melakukan desain dan fabrikasi yang tepat untuk *Splitter* agar dapat membagi berkas cahaya.
2. Mencari pengaruh pergeseran serat optik terhadap daya keluaran.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Fabrikasi *Splitter* yang dapat diatur daya keluarannya menggunakan pergeseran mikro.
2. Menganalisis grafik perubahan daya keluaran pada serat optik terhadap pergeseran masukan serat optik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan Masalah dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Substrat yang digunakan adalah *Acrylic* transparan yang diukir membentuk struktur Y menggunakan Baisheng Laser CNC.
2. Serat optik yang digunakan adalah FD-620-10 dari Autonics, Korea dengan diameter gabungan *core* dan *cladding* adalah 1 mm.
3. Pergeseran masukan serat optik dilakukan dengan mikrometer dan pegas.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai penerapan bidang ilmu fotonika pada sistem komunikasi serat optik. Selain itu, *Splitter* pada penelitian ini dapat diatur daya keluarannya sehingga dapat dimanfaatkan untuk teknologi sensor.

#### **1.6 Sistematika Penulisan Laporan**

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi ringkasan dari penelitian. Bab I Pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan. Bab II Tinjauan Pustaka memuat tentang teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Bab III Metodologi memuat tentang metode yang digunakan dalam penelitian. Bab IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil pengambilan data dan pengolahan data serta analisis data. Kemudian, Bab V Kesimpulan yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk memperbaiki penelitian Tugas Akhir ini.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Serat Optik

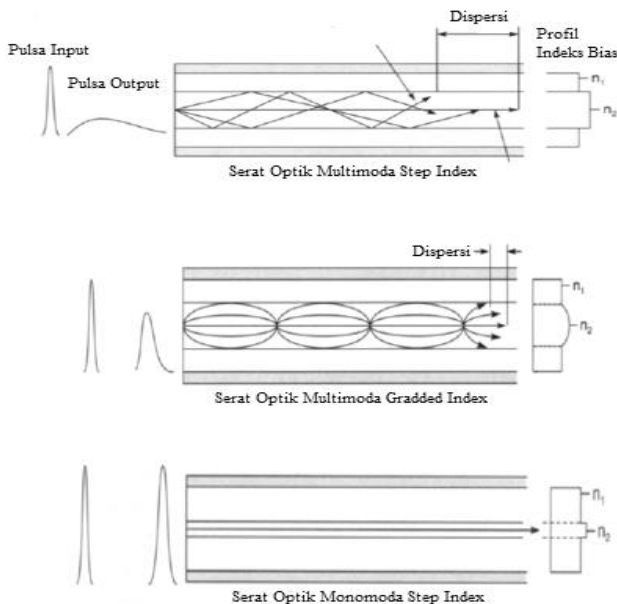
Serat optik merupakan pandu gelombang dielektrik atau media transmisi gelombang cahaya yang terbuat dari bahan *low-loss*, seperti *silica* atau plastik berbentuk silinder (Saleh and Teich, 2007). Serat optik terdiri dari dua bagian utama yaitu *core* yang berada di pusat silinder dan dikelilingi oleh *cladding*. Dalam aplikasinya, bagian terluar serat optik dilapisi oleh *coating* yang berfungsi untuk melindungi serat optik dari gangguan eksternal (Keiser, 1984). Ditinjau dari distribusi indeks bias *core*, serat optik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu serat optik *step index* dan serat optik *graded index*. Serat optik memiliki nilai indeks bias *core* yang lebih besar daripada *cladding*. Salah satu jenis serat optik yang terjadi perubahan indeks bias secara mendadak pada batas permukaan *core* dengan *cladding*, maka serat optik ini tergolong serat optik *step index* (Agrawal, 2002).

Pada serat optik *step index*, nilai indeks bias *core*  $n_1$  dan indeks bias *cladding*  $n_2$  dibuat dengan selisih yang sedikit berbeda, sehingga fraksi perubahan indeks bias antara *core* dengan *cladding* didefinisikan sebagai (Saleh and Teich, 2007),

$$\Delta \equiv \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \ll 1 \quad (2.1)$$

Sedangkan pada serat optik *graded index*, indeks bias *core* menurun secara bertahap dari pusat *core* menuju bidang batas antara *core* dengan *cladding* sehingga nilai indeks bias *core* yang terbesar berada pada pusat *core* (Agrawal, 2002).

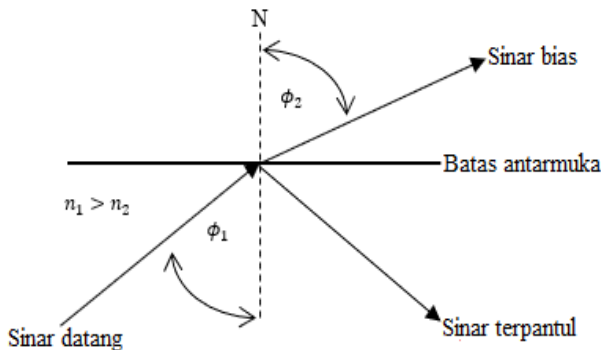
Berdasarkan karakteristik dari struktur dan sifat transmisinya, serat optik dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*single mode fiber optic*) dan serat optik moda jamak (*multimode fiber optic*). Serat optik moda tunggal memiliki diameter *core* yang sangat kecil berkisar  $8\ \mu\text{m}$  dan diameter *cladding*  $125\ \mu\text{m}$  sehingga pada serat optik tersebut hanya menjalar satu moda. Sedangkan serat optik moda jamak memiliki diameter *core* yang lebih besar berkisar  $50\ \mu\text{m}$ - $100\ \mu\text{m}$  sehingga pada serat optik tersebut menjalar lebih dari satu moda (Powers, 1996; Saleh and Teich, 2007). Klasifikasi jenis serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Distribusi Indeks Bias dan Moda yang menjalar di dalam Serat Optik (Tricker, 2002)

## 2.2 Pemantulan Internal Total

Proses pemanduan gelombang cahaya di dalam serat optik berdasarkan mekanisme pemantulan internal total dan hukum Snellius pada dua bidang batas medium dielektrik *core* dan *cladding*. Jika sinar datang dari medium rapat  $n_1$  ke medium kurang rapat  $n_2$ , maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Hubungan antara indeks bias dielektrik  $n_1$  *core* dan  $n_2$  *cladding* dinyatakan dengan hukum Snellius bahwa jika sinar datang dari medium rapat menuju medium renggang pada batas antarmuka dua medium maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Proses penjalaran sinar dapat dilihat Gambar 2.2 (Powers, 1996).



Gambar 2.2 Refleksi dan Refraksi Berkas Cahaya pada Bidang Batas Dua Medium (Powers, 1996)

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

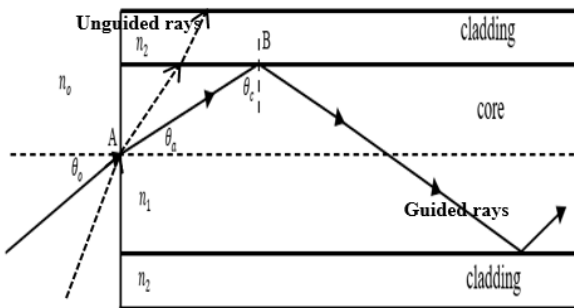
$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.2)$$

Bila  $n_1 > n_2$ , maka sudut bias selalu lebih besar daripada sudut datang. Sudut datang yang menyebabkan sudut bias  $90^\circ$  disebut sudut kritis sehingga sinar dibiaskan pada permukaan bidang batas *core* dan *cladding*. Sinar-sinar datang yang lebih besar daripada sudut kritis menimbulkan efek yang disebut Pemantulan Internal Total (Powers, 1996).

Untuk memahami propagasi gelombang cahaya di dalam serat optik, maka digunakan serat optik moda jamak *step index*. Gambar 2.3 menunjukkan suatu sinar meridional yang datang dari medium rapat  $n_1$  menuju medium kurang rapat  $n_2$  pada bidang batas *core* dan *cladding* di dalam serat optik.



Gambar 2.3 Perambatan Sinar pada Serat Optik *Step Index* (Keiser, 1984)

Dengan menggunakan hukum Snellius, diperoleh relasi sebagai berikut (Agrawal, 2002; Keiser, 1984):

Hukum Snellius di titik A:

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \sin \theta_a \quad (2.3)$$

Ketika  $\theta_a$  di titik A menghasilkan sudut kritis ( $\theta_c$ ) di titik B maka:

$$\theta_a = \frac{\pi}{2} - \theta_c$$

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_c \right)$$

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \cos \theta_c \quad (2.4)$$

Hukum Snellius di titik B:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

Dengan relasi trigonometri, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = 1 \quad (2.6)$$

$$\cos^2 \theta_c = 1 - \sin^2 \theta_c$$

$$\cos \theta_c = \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \cos \theta_c$$

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

$$n_o \sin \theta_o = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$



dengan  $n_o$  adalah indeks bias udara yang nilainya 1. Sehingga

$$\sin \theta_{omax} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sin \theta_{omax} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.7)$$

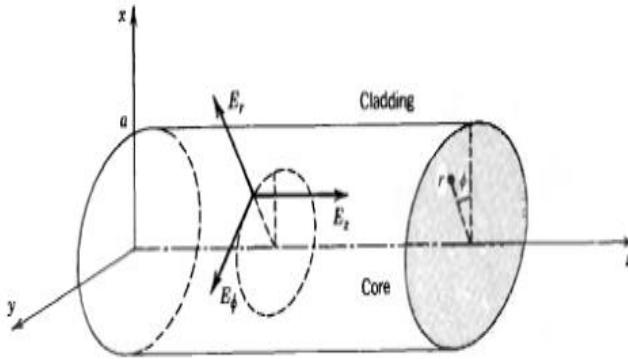
Bila sudut  $\theta_o$  diperbesar maka sudut  $\theta_a$  akan mengecil dan sudut datang di titik B lebih kecil dari sudut  $\theta_c$  sebagai  $\theta_i$  tersebut merupakan nilai maksimum sehingga berkas cahaya terpandu total. Hubungan antara sudut penerimaan maksimum, indeks bias *core*, indeks bias *cladding*, dan indeks bias udara dinyatakan dengan Tingkap Numerik atau *Numerical Aperture* (NA). Sinar yang masuk lebih besar dari sudut penerimaan maksimum menyebabkan sinar terefraksi ke dalam *cladding* (Agrawal, 2002; Keiser, 1984).

### 2.3 Persamaan Pandu Gelombang Silinder (Serat Optik)

Karakteristik setiap moda gelombang optik yang dapat dipandu sepanjang serat optik dapat diketahui dari distribusi medan listrik dan medan magnet gelombang optik tersebut sepanjang perambatannya. Komponen medan listrik dan medan magnet gelombang optik terpandu dapat diperoleh dari penyelesaian Persamaan Hemholtz dengan menyatakan operator  $\nabla^2$  dalam koordinat silinder.

$$\nabla^2 U + k^2 U = 0 \quad (2.8)$$

dengan  $k = \frac{\omega}{c}$  yang merupakan konstanta perambatan. Dari hubungan  $n = \frac{c}{c_0}$  dan  $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ , maka  $k = nk_0$  dengan indeks 0 menunjukkan medium vakum.



Gambar 2.4 Geometri Serat Optik dalam Koordinat Silinder (Saleh and Teich, 1991)

Dari geometri serat optik berbentuk silinder pada Gambar 2.4, di mana  $n = n_1$  untuk  $r < a$  (di *core*) dan  $n = n_2$  untuk  $r > a$  (di *cladding*). Dalam koordinat silinder, Persamaan Hemholtz mempunyai bentuk (Saleh and Teich, 1991) :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + n^2 k_0^2 U = 0 \quad (2.9)$$

dengan  $U = U(r, \phi, z)$  adalah amplitudo kompleks medan  $E$  dan  $H$  serta  $r$ ,  $\phi$ , dan  $z$  menyatakan posisi dalam koordinat silinder. Dalam koordinat silinder,  $U$  pada persamaan (2.9) merepresentasikan  $E_z$  dan  $H_z$  yaitu medan listrik dan medan magnet ke arah  $z$ . Jika diasumsikan amplitudo kompleks merambat ke arah  $z$  dan dinyatakan dalam bentuk (Saleh and Teich, 1991) :

$$U = U(r, \phi, z) = U(r) e^{-j(\ell\phi + \beta z)} \quad (2.10)$$

dengan  $\beta$  adalah konstanta perambatan dan  $\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , menunjukkan periodisitas  $\phi$  dengan periode  $2\pi$ , maka persamaan (2.9) akan berbentuk (Saleh and Teich, 1991) :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{\ell^2}{r^2} \right) U = 0 \quad (2.11)$$

syarat gelombang terpandu adalah  $n_2 k_0 < \beta < n_1 k_0$  untuk itu didefinisikan parameter sebagai berikut (Saleh and Teich, 1991) :

$$k_\tau^2 = n_1^2 k_0^2 - \beta^2 \quad (2.12)$$

dan

$$\gamma^2 = \beta^2 - n_2^2 k_0^2 \quad (2.13)$$

Untuk gelombang terpandu  $k_\tau^2$  dan  $\gamma^2$  bernilai positif dan  $k_\tau$  dan  $\gamma$  bernilai real.  $k_\tau$  menyatakan komponen transversal gelombang terpandu di dalam *core*, sedangkan  $\gamma$  menyatakan komponen transversal gelombang di dalam *cladding* atau gelombang *evanescent*. Dengan demikian Persamaan 2.11 dapat dipisahkan antara di *core* dan di *cladding* seperti persamaan berikut (Saleh and Teich, 1991) :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( k_\tau^2 - \frac{\ell^2}{r^2} \right) U = 0 \quad r < a \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \left( \gamma^2 - \frac{\ell^2}{r^2} \right) U = 0 \quad r > a \quad (2.15)$$

Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.15) berbentuk Persamaan Bessel dengan solusi berupa Fungsi Bessel. Agar fungsi tidak bernilai  $\infty$  di  $r = 0$  (*core*) dan di  $r \rightarrow \infty$  (*cladding*), maka solusi terbatas adalah sebagai berikut (Saleh and Teich, 1991) :

$$U(r) \propto \begin{cases} J_\ell(k_\tau r), & r < a \\ \mathcal{K}_\ell(\gamma r), & r > a \end{cases} \quad (2.16)$$

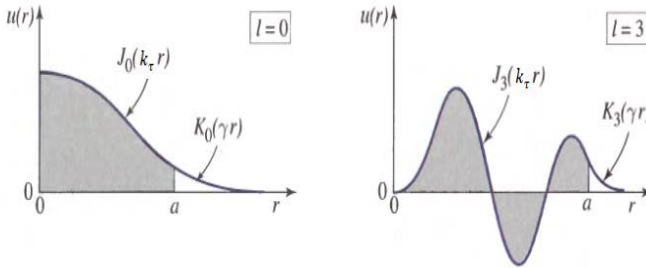
dimana  $J_\ell(x)$  adalah Fungsi Bessel jenis pertama dan orde  $\ell$ , dan  $\mathcal{K}_\ell(x)$  adalah Fungsi Bessel termodifikasi jenis kedua dan orde  $\ell$ .

Dalam batas  $x \gg 1$ , fungsi  $J_\ell(x)$  berosilasi seperti fungsi sinus atau kosinus tetapi dengan amplitudo yang semakin berkurang dan  $K_\ell(x)$  meluruh secara eksponensial dengan meningkatnya  $x$  (Saleh and Teich, 1991).

$$J_\ell(x) \approx \left[\frac{2}{\pi x}\right]^{\frac{1}{2}} \cos\left[x - \left(\ell + \frac{1}{2}\right)\frac{\pi}{2}\right], \quad x \gg 1 \quad (2.17)$$

$$K_\ell(x) \approx \left(\frac{\pi}{2x}\right)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{4\ell^2 - 1}{8x}\right] e^{-x}, \quad x \gg 1 \quad (2.18)$$

Untuk nilai  $k_\tau$  besar, distribusi medan di dalam *core* berosilasi secara cepat, sedangkan untuk nilai  $\gamma$  besar, penurunan amplitudo medan terjadi secara cepat sehingga penetrasi medan (gelombang) di dalam *cladding* menjadi kecil (Saleh and Teich, 1991).



Gambar 2.5 Distribusi Amplitudo Medan di *Core* dan *Cladding* untuk Orde 0 dan 1 (Saleh and Teich, 2007)

Distribusi amplitudo medan di *core* dan *cladding* untuk  $\ell = 0$  dan  $\ell = 3$  diperlihatkan pada Gambar 2.5 (Saleh and Teich, 2007) :

Jika Persamaan (2.12) dan (2.13) dijumlahkan, diperoleh persamaan sebagai berikut (Saleh and Teich, 1991) :

$$k_{\tau}^2 + \gamma^2 = (n_1^2 - n_2^2)k_0^2 = (NA)^2 k_0^2 \quad (2.19)$$

ruas paling kanan Persamaan (2.19) bernilai konstan, sehingga jika nilai  $k_{\tau}$  membesar, maka nilai  $\gamma$  mengecil, pada keadaan ini penetrasi medan ke *cladding* menjadi besar (Saleh, 1991). Jika Persamaan (2.19) dikalikan dengan  $a$ , terdefinisi parameter  $V$  yang berkaitan dengan keadaan *cut off* (*cut off parameter*) atau frekuensi ternormalisasi dengan definisi sebagai berikut (Saleh and Teich, 1991) :

$$X = k_{\tau}a \quad (2.20)$$

$$Y = \gamma a \quad (2.21)$$

$$X^2 + Y^2 = V^2 \quad (2.22)$$

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda_0} NA \quad (2.23)$$

dengan  $a$  = jari-jari *core* dari serat optik dan  $\lambda$  = panjang gelombang cahaya.

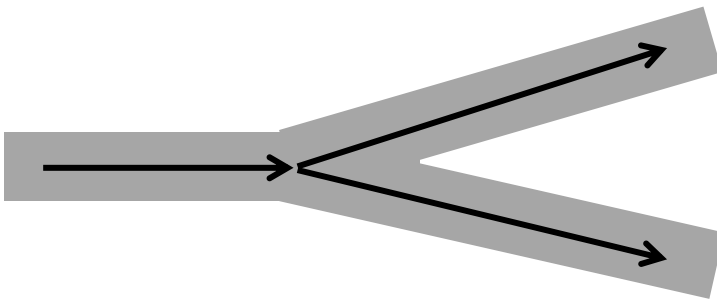
Sedangkan jumlah moda terpandu dalam serat optik didefinisikan dengan (Keiser, 1984) :

$$M = \frac{4}{\pi^2} V^2 \quad (2.24)$$

bila nilai  $V$  serat optik  $< 2,408$  maka *mode* (ragam) yang dapat dipandu hanya satu dan bila nilai  $V \geq 2,408$  maka *mode* yang dapat dipandu pada serat optik lebih dari satu (Keiser, 1984).

## 2.4 Splitter

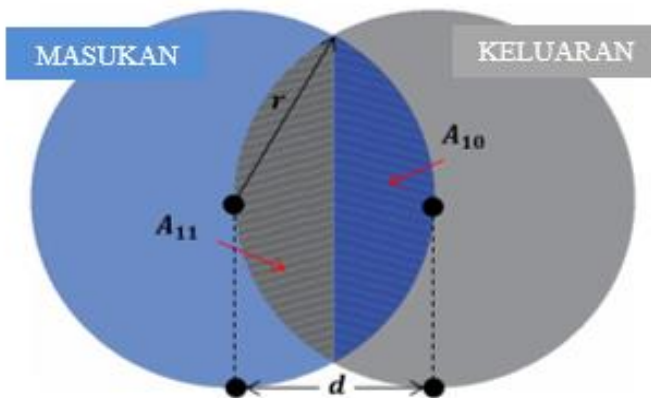
Dalam fungsi *splitting*, serat optik *coupler* membagi sinyal masukan ke dalam dua atau lebih keluaran. Jenis *coupler* semacam itu dikenal sebagai *Splitter* optik. Serat optik *coupler* dapat diklasifikasikan sebagai *Y-coupler* dan *T-coupler*. *Coupler* semacam ini digunakan untuk membagi daya ke dua keluaran seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penampang Lintang dari *Y-Coupler* (Powers, 1996)

*Splitter* pada Gambar 2.6 termasuk perangkat pasif dengan kapasitas distribusi 1:2. Kapasitas distribusi dari *Splitter* bermacam-macam yaitu 1:2, 1:4, 1:8, 1:32, dan 1:64. Sebagian besar *Y-Coupler* membagi sinyal optik masukan menjadi dua keluaran dengan masing-masing proporsi daya keluaran sebesar 50:50% dan 90:10% (Powers, 1996). *Splitter* yang beredar di industri telekomunikasi masih tergolong *Splitter* pasif yang menggunakan jenis serat optik moda tunggal *step index* dan daya keluaran yang dihasilkan oleh *Splitter* ini sebagian besar 50:50%. Salah satu contoh *Splitter* yang digunakan pada konfigurasi FTTH (*Fiber to The Home*) adalah *Splitter PLC (Planar lightwave Circuit Splitter)* (Hantoro, 2015).

*Splitter* pada penelitian Tugas Akhir ini tergolong perangkat aktif dikarenakan proporsi daya keluaran dapat diatur dengan mengaplikasikan *Lateral Displacement* dan *Misangular Alignment* pada masukan serat optik. Rasio distribusi daya dikontrol oleh masukan serat optik untuk menghasilkan fungsi *coupling* seperti dalam rasio 10:90%, 20:80%, 30:70%, 40:60%, atau 50:50% pada *Splitter* dalam penelitian Tugas Akhir ini. Pergeseran dari masukan serat optik menimbulkan perubahan daya keluaran sehingga proporsi daya keluaran dapat diatur sesuai dengan keinginan. Prinsip kerja *Splitter* sebagai *power divider* dalam penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Overlapped Area* (Wilayah Tumpang Tindih) di antara Serat Optik Identik (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017)

Berdasarkan Gambar 2.7, luas total *overlapped area* adalah jumlah luas  $A_{10}$  dan  $A_{11}$ . Bentuk dan dimensi kedua serat optik adalah sama, maka luas totalnya adalah  $2A_{10}$ . Luas  $A_{10}$  dapat dihitung

berdasarkan Gambar 2.8 (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017):

$$Luas \Delta = \frac{1}{2} \times a \times t \quad (2.25)$$

$$t = \frac{d}{2}$$

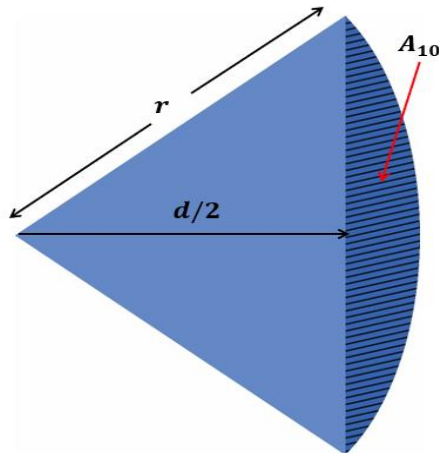
$$a = 2 \times \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$a = \sqrt{4r^2 - d^2}$$

Maka,

$$Luas \Delta = \frac{1}{2} \times \sqrt{4r^2 - d^2} \times \frac{d}{2}$$

$$Luas \Delta = \frac{d}{4} \times \sqrt{4r^2 - d^2}$$



Gambar 2.8 Juring Lingkaran (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017)



$$\begin{aligned}
\cos \theta &= \frac{d}{2r} \\
\theta &= \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) \\
\phi &= 2\theta, \theta = \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) \\
\phi &= 2\theta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) \\
\text{Luas juring} &= \frac{\phi}{360^\circ} \times \pi r^2 \quad (2.26) \\
&= \frac{2 \cos^{-1} \frac{d}{2r}}{2\pi} \times \pi r^2 \\
&= r^2 \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right)
\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
A_{10} &= \text{Luas juring} - \text{Luas } \Delta \\
A_{10} &= r^2 \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) - \frac{d}{4} \times \sqrt{4r^2 - d^2} \quad (2.27)
\end{aligned}$$

Jadi,

$$\begin{aligned}
\text{Luas Total Overlapped Area} &= A_{10} + A_{11} \\
&= 2 \times A_{10} \\
&= 2 \times \left( r^2 \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) - \frac{d}{4} \times \sqrt{4r^2 - d^2} \right) \\
&= 2r^2 \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) - \frac{d}{2} \sqrt{4r^2 - d^2} \quad (2.28)
\end{aligned}$$

dengan  $d$  merupakan panjang dari *Overlapped Area* di antara dua pusat serat optik plastik,  $\frac{d}{2}$  didefinisikan sebagai setengah dari *Overlapped Area* di antara dua pusat serat optik plastik, dan  $r$  adalah radius dari serat optik plastik. Pergeseran  $x$  mempunyai fungsi  $d$  seperti pada persamaan (2.28) dimana:

$$\Delta x = r - d \quad (2.29)$$

$$d_1 + d_2 = 2r \quad (2.30)$$

dan untuk  $\Delta x = 0$  maka *Splitter* membagi daya masukan menjadi 50:50.

Daya yang ditransmisikan ke dalam Serat Optik 1 dapat ditulis sebagai (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017) :

$$P_1 = (A_{10} + A_{11}) \times I_o \quad (2.31)$$

dan daya yang ditransmisikan ke dalam Serat Optik 2 adalah (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017) :

$$P_2 = (A_{20} + A_{22}) \times I_o \quad (2.32)$$

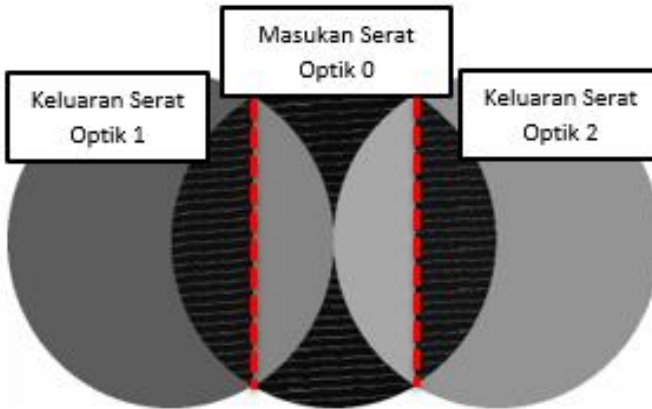
dimana  $I$  adalah intensitas dari sumber cahaya. Melalui Persamaan (2.31) dan (2.32) diperoleh hubungan bahwa daya keluaran dari Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 berbanding lurus dengan Luas Total *Overlapped Area*. Sehingga Persamaan (2.31) dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_1 = \left( 2r^2 \cos^{-1} \left( \frac{d_1}{2r} \right) - \frac{d_1}{2} \sqrt{4r^2 - d_1^2} \right) \times I_o \quad (2.33)$$

Pada Persamaan (2.32) menunjukkan bahwa jika semakin besar luas total *overlapped area* maka semakin besar daya keluaran serat optik 1 yang dihasilkan. Hubungan antara daya keluaran dengan luas total *overlapped area* membentuk Persamaan *Quadratic*.

Dari Persamaan (2.31) dan (2.32) dapat diperoleh Persamaan-Persamaan *Coupling Ratio*, *Insertion Loss*, dan *Excess Loss*.

1. *Splitting* atau *Coupling Ratio* (CR) adalah prosentase dari rasio antara daya salah satu keluaran terhadap total dari daya pada kedua keluaran seperti pada Gambar 2.9 (Crisp, 2001; Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017).



Gambar 2.9 *Coupling Ratio* (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017)

$$CR_i(\%) = \left( \frac{P_i}{P_1 + P_2} \right) \times 100\% \quad (2.34)$$

2. *Insertion Loss* ( $L_{ins}$ ) yaitu rugi yang terjadi akibat daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion Loss* diukur sebagai perbandingan daya output tunggal terhadap daya

masukannya (Crisp, 2001; Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017) :

$$Insertion Loss(dB) = -10 \log \left( \frac{P_{output port}}{P_{input port}} \right)$$

$$Insertion Loss(dB) = -10 \log \left( \frac{P_i}{P_0} \right) \quad (2.35)$$

di mana  $i$  merupakan keluaran serat optik 1 atau serat optik 2 dan  $P_0$  adalah daya masukan.

3. *Excess Loss* ( $L_e$ ) adalah rugi daya total yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Crisp, 2001; Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017) :

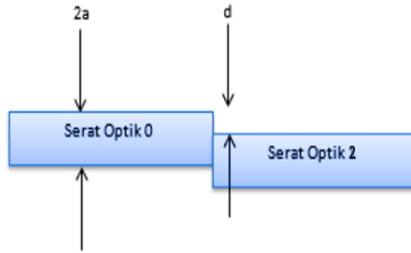
$$Excess Loss(dB) = -10 \log \left( \frac{\sum_{j=1}^N P_j}{P_i} \right)$$

$$Excess Loss(dB) = -10 \log \left( \frac{P_1 + P_2}{P_0} \right) \quad (2.36)$$

Struktur Y adalah perancangan model pembagi sinyal optik yang paling sederhana karena dapat membagi sinyal optik secara simetris. Akan tetapi, pendistribusian sinyal optik pada struktur Y dapat diatur secara asimetris menggunakan konsep atenuasi serat optik yang disebabkan oleh *Lateral Displacement* (Ehsan et al., 2012).

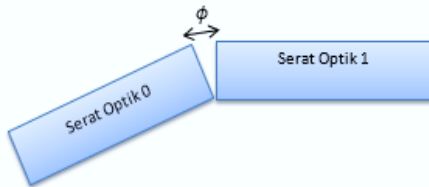
Dalam analisis *Misalignments Effect* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10, diasumsikan bahwa serat optik yang digunakan mempunyai radius, indeks bias, dan *Numerical Aperture* yang sama. Untuk serat optik *step index*, efisiensi *coupling* bergantung pada jarak pergeseran serat optik  $d$  secara lateral dan radius *core*  $r$  serat optik (Powers, 1996).

$$\eta_{SI} = \frac{A_{\text{Overlapped Area}}}{\pi r^2} = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) - \frac{d}{\pi r} \sqrt{1 - \left( \frac{d}{2r} \right)^2} \quad (2.37)$$



Gambar 2.10 *Lateral Displacement* antara Serat Optik 0 dan Serat Optik 2 (Keiser, 1984)

Sedangkan, pergeseran masukan Serat Optik 0 ke keluaran Serat Optik 1 menghasilkan gap sebesar  $S$ . Mekanisme pergeseran ini disebut *Misangular Alignment* seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Misangular Alignment* antara Serat Optik 0 dan Serat Optik 1 (Keiser, 1984)

Untuk dua serat optik *step-index* yang mempunyai *Angular Misalignment*  $\phi$ , *loss* daya optik pada titik persambungan dirumuskan sebagai berikut (Keiser, 1984):

$$L_F = -10 \log \left( \cos \phi \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} p (1 - p^2)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{\pi} \sin^{-1} p - q \left[ \frac{1}{\pi} y (1 - y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\pi} \sin^{-1} y + \frac{1}{2} \right] \right\} \right) \quad (2.38)$$

dimana,

$$p = \frac{\cos \theta_c (1 - \cos \phi)}{\sin \theta_c \sin \phi} \quad (2.39)$$

$$q = \frac{\cos^3 \theta_c}{(\cos^2 \theta_c - \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.40)$$

$$y = \frac{\cos^2 \theta_c (1 - \cos \phi) - \sin^2 \phi}{\sin \theta_c \cos \theta_c \sin \phi} \quad (2.41)$$

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Pada penelitian Tugas Akhir ini, peralatan yang digunakan adalah:

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. Pemotong serat optik                      | 12. Ampelas mesh 500   |
| 2. <i>Power supply</i>                       | 13. Selotip            |
| 3. Pelat tipis aluminium                     | 14. BF5R-D1-N          |
| 4. Pegas                                     | 15. Luxmeter           |
| 5. Batang besi silinder                      | 16. DIN rail           |
| 6. Gergaji                                   | 17. Statif             |
| 7. <i>Cutter</i>                             | 18. Laptop             |
| 8. Mikrometer                                | 19. Layar              |
| 9. Mur                                       | 20. Logitech HD Webcam |
| 10. Baisheng Laser CNC                       | C270                   |
| 11. <i>Stainless steel</i> batang<br>berulir |                        |

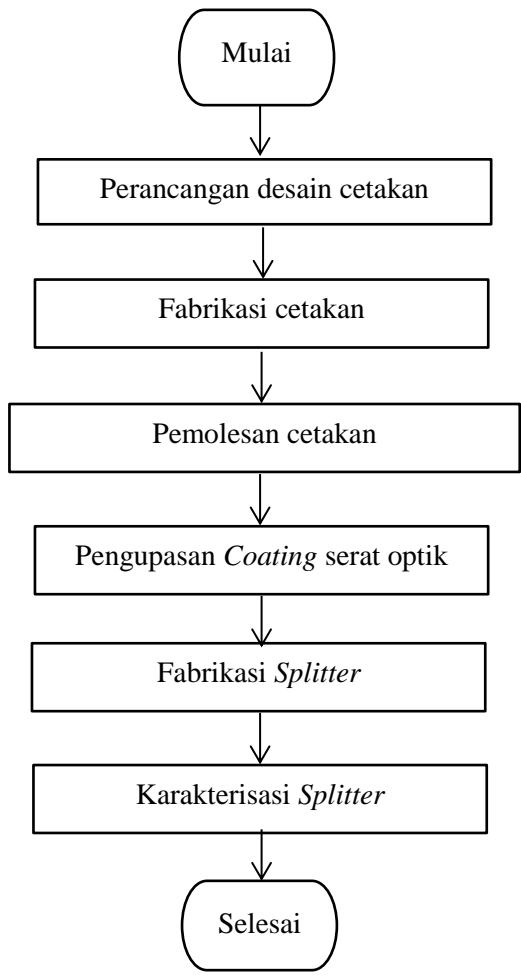
Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Serat optik tipe FD-620-10
2. *Acrylic*
3. Lem perekat
4. Alkohol 96%
5. Aquades
6. Pelumas



**3.2 Diagram Kerja Penelitian**

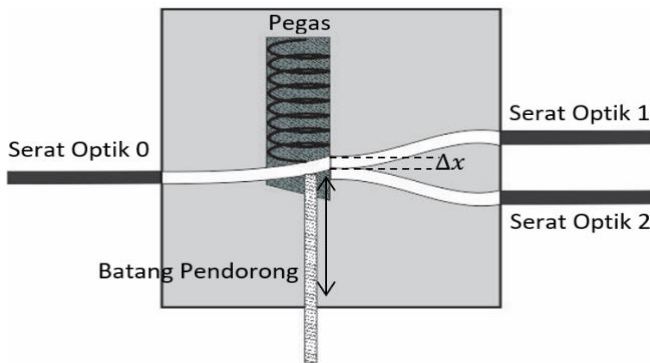
Alur kerja dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1:



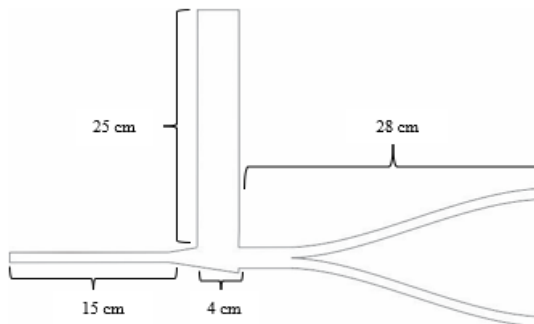
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Perancangan Desain Cetakan

Desain yang digunakan dalam fabrikasi *Splitter* ini berbentuk struktur Y. Substrat yang digunakan adalah *Acrylic* dengan dimensi panjang 5 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 1 cm. Perancangan desain dilakukan menggunakan *software CorelDRAW*. Gambar 3.2 adalah desain *Splitter* yang dirancang menggunakan *software CorelDRAW* dengan desain alur lekukan seperti pada Gambar 3.3.



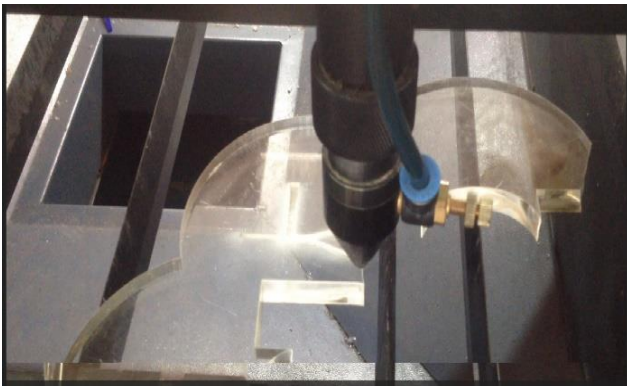
Gambar 3.2 Desain *Splitter*



Gambar 3.3 Desain Alur Lekukan *Splitter*

### 3.4 Fabrikasi Cetakan

Perancangan yang telah terbentuk struktur Y kemudian diukir di atas substrat *Acrylic* menggunakan mesin Baisheng Laser CNC seperti pada Gambar 3.4 dengan kecepatan tembak laser adalah 10 mm/s pada bagian ruang pegas dan 20 mm/s pada bagian cabang serat optik. Dimensi substrat yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ .



Gambar 3.4 Pengukiran Cetakan dengan Baisheng Laser CNC<sub>2</sub>

### 3.5 Pemolesan Cetakan

*Acrylic* yang telah diukir menggunakan Baisheng Laser CNC dilakukan pemolesan cetakan. Alur lekukan bekas ukiran pada *Acrylic* adalah tidak rata dan runcing, apabila hal ini tidak dihaluskan menyebabkan kerusakan pada serat optik sehingga menghasilkan kebocoran. Pemolesan alur lekukan dilakukan menggunakan ampelas dengan tingkat kekasaran 500. Proses penghalusan dilakukan sampai bagian alur lekukan bekas ukiran rata dan halus. Kemudian *Acrylic* dibersihkan menggunakan air sabun dan dicuci menggunakan Aquades.

*Acrylic* yang sudah dibersihkan menggunakan Aquades kemudian dimasukkan pada gelas beker yang telah berisi Alkohol 96% sebanyak 50 ml dan direndam selama 30 menit. Pemolesan ini dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa potongan *Acrylic* yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Setelah dilakukan pemolesan, ruang untuk pegas pada substrat *Acrylic* diberi sedikit pelumas untuk memperkecil gaya gesek antara dinding *Acrylic* dengan permukaan pegas.

### 3.6 Pengupasan *Coating* Serat Optik

Pada tahap ini, serat optik yang digunakan terdiri dari tiga buah dengan panjang 30 cm, 30 cm, dan 20 cm dipotong menggunakan *fiber cutter*. Kemudian, bagian jaket (*coating*) dari serat optik tersebut dikupas dengan *cutter* di atas alat pengupas jaket yang terbuat dari *Acrylic* dengan ketebalan 1 cm seperti pada Gambar 3.5. Panjang kupasan yang diperlukan masing-masing adalah 3 cm. Pengupasan dilakukan dengan gerakan searah secara perlahan agar tidak merusak *core* serat optik.



Gambar 3.5 Pengupasan *Coating* Serat Optik

Pengupasan dilakukan menggunakan *cutter* yang steril dikarenakan alat tersebut mudah digunakan dan dijangkau. Penggunaan alat ini dilakukan dengan hati-hati karena serat optik rentan rusak apabila terkena goresan dari pisau *cutter*.

### 3.7 Fabrikasi *Splitter*

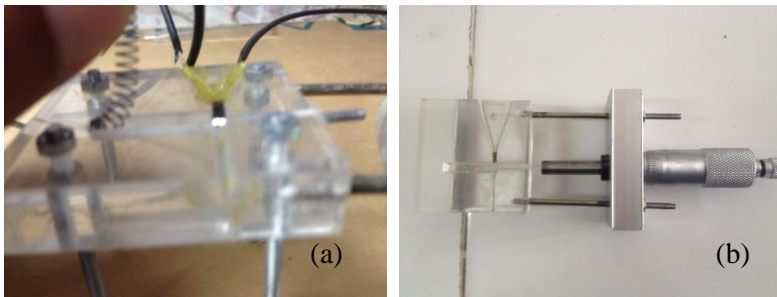
Pada tahap ini, substrat *Acrylic* yang telah dilakukan pemolesan dirangkai bersama dengan poros geser dari mikrometer. Pelat tipis Aluminium dipotong dengan ukuran  $5,8 \times 3,1$  cm sebanyak dua buah sebagai penyangga dari mikrometer. Setelah dipotong, pelat tipis tersebut dibuat lubang seperti pada Gambar 3.6 menggunakan mesin bor. Penyangga tersebut disatukan dengan poros geser dari mikrometer menggunakan dua besi diameter 3,33 mm dengan panjang masing-masing 10 cm.



Gambar 3.6 Lubang pada Pelat Tipis Aluminium

Untuk menghubungkan mikrometer pada *Acrylic*, maka *Acrylic* dibuat lubang pada kedua sisi sama dengan diameter besi. Kemudian, masing-masing besi direkatkan menggunakan lem *Alteco* pada *Acrylic*. Untuk mempermudah pengambilan data maka dibuat suatu penyangga menggunakan empat besi berulir dengan diameter 3,33 mm untuk menopang *Acrylic* dan poros geser dari

mikrometer. Hal ini dilakukan dengan membuat empat lubang berdiameter 3,33 mm menggunakan mesin bor pada bagian bawah *Acrylic* kemudian dikaitkan dengan mur agar makin kuat. Lubang yang terakhir berada tepat dengan poros geser dari mikrometer. Agar dapat mengatur daya keluaran serat optik, maka digunakan besi berdiameter 2,42 mm yang didorong oleh poros geser dan bersentuhan langsung dengan masukan serat optik seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 (a) *Set-up Splitter* (b) Rangkaian Poros Geser dari Mikrometer dengan substrat *Acrylic*

Serat optik yang dikupas pada bagian *Coating* diletakkan pada alur lekukan sehingga ada satu cabang serat optik yang bertindak sebagai masukan dan dua lainnya bertindak sebagai keluaran. Agar posisi masing-masing serat optik sejajar, maka pemasangan serat optik dilakukan dengan bantuan kaca pembesar. Setelah itu, masing-masing serat optik direkatkan menggunakan lem agar tidak terjadi perubahan posisi saat pengambilan data. Setelah semua serat optik berada pada tempatnya masing-masing, maka pegas dan besi poros geser diletakkan pada tempat yang telah disediakan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7.

### 3.8 Karakterisasi *Splitter*

Pada tahap ini, *Splitter* dilakukan pengambilan data untuk mengetahui nilai rugi daya yang terjadi. Karakterisasi ini dilakukan untuk memperoleh nilai *Insertion loss* ( $L_{ins}$ ), *Excess loss* ( $L_e$ ), dan *Coupling ratio* ( $CR_i$ ). Proses pengambilan data dilakukan menggunakan Luxmeter dan BF5R-D1-N. Pengambilan data pertama kali adalah menentukan nilai masukan cahaya pada *Splitter*. Gambar 3.8 adalah *set-up* alat pengambilan data masukan cahaya.



Gambar 3.8 *Set-up* Alat Pengambilan Data Masukan Cahaya menggunakan Luxmeter

BF5R-D1-N merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima oleh serat optik dengan dua buah *port* lubang yang masing-masing berfungsi sebagai sumber cahaya dan detektor cahaya seperti pada Gambar 3.9. Pada karakterisasi ini digunakan satu buah BF5R-D1-N yang bertindak sebagai sumber cahaya. Sumber cahaya yang dihasilkan BF5R-D1-N berasal dari LED merah dengan panjang gelombang 660 nm termodulasi.

*Setting mode* yang digunakan adalah *Rspd Std* (respon standar) dan mode tersebut memberikan respon kecepatan sebesar  $500\ \mu\text{s}$ .



Gambar 3.9 BF5R-D1-N

Spesifikasi dari BF5R-D1-N dapat dilihat melalui Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi BF5R-D1-N

<b>Tipe</b>	<b>BF5R-D1-N</b>
<b>Source</b>	LED merah (660 nm)
<b>Power Supply</b>	12-24 Volt DC $\pm 10\%$
<b>Arus maksimum</b>	50 mA
<b>Waktu respon</b>	$500\ \mu\text{s}$ ( <i>Standart</i> )
<b>Keluaran</b>	$P_{\text{in}}$ ( <i>level light</i> ) 0-4000

Pengambilan data dilakukan di ruang meja anti getar dikarenakan alat ini sangat sensitif apabila terdapat getaran di sekitar area



pengukuran sehingga akan merespon hasil pengukuran yang berbeda. Pemasangan kabel BF5R-D1-N ke *power supply* dilakukan dengan cara menghubungkan kabel warna coklat pada bagian positif *power supply*, kabel warna biru pada bagian *ground power supply*, dan kabel warna hitam pada bagian negatif *power supply*. Kemudian, alat ini diletakkan diatas DIN rail yang telah terpasang pada statif agar bisa berdiri tegak dan sejajar. Tegangan operasi yang digunakan adalah 13,0 V karena alat ini bekerja optimum pada tegangan tersebut. Untuk mendapatkan nilai intensitas cahaya, maka Luxmeter digunakan sebagai detektor dan BF5R-D1-N sebagai sumber cahaya. Luxmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur iluminasi atau intensitas penerangan suatu area. Gambar 3.10 adalah Luxmeter VICTOR 1010A yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini.



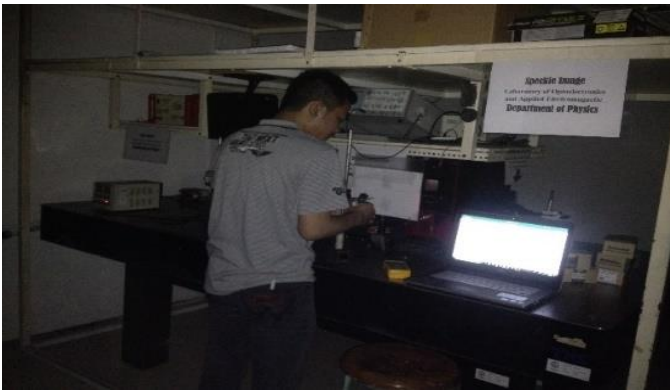
Gambar 3.10 Luxmeter

*Set-up* alat pengambilan data menggunakan Luxmeter dapat dilihat pada Gambar 3.11. Alat ini sangat sensitif terhadap cahaya

di sekitar area pengukuran, sehingga pengambilan data dilakukan di meja anti getar dan ruangan pengukuran harus dalam kondisi gelap agar nilai yang terukur berasal dari satu sumber cahaya dari BF5R-D1-N. Luxmeter mengukur derajat penerangan pada bidang yang diterangi dengan bidang berbentuk lingkaran dari serat optik. Nilai yang terukur adalah iluminasi atau intensitas penerangan atau kuat penerangan dengan satuan *Lux (Lx)* atau  $\text{lumen/m}^2$ . Setelah dilakukan pengambilan data nilai masukan cahaya, selanjutnya pengambilan data daya keluaran dengan menggeser mikrometer sebesar 0,01 m sehingga masukan Serat Optik 0 di titik persambungan mengalami pembelokan sebesar 5  $\mu\text{m}$ . Kemudian, bagian *sensing* dari Luxmeter ditempelkan pada keluaran Serat Optik 1 dan 2 secara bergantian untuk mendapatkan nilai intensitas cahaya. Pergeseran diganti secara bertahap sampai dengan total pergeseran sebesar 1 mm. Gambar 3.11 menunjukkan cara pengambilan nilai intensitas penerangan dari bidang yang diterangi oleh keluaran serat optik pada bagian *sensing* Luxmeter. Dua cabang keluaran serat optik ditempelkan dan direkatkan menggunakan selotip pada DIN rail agar posisi kedua serat optik tersebut sejajar dan tetap. *Sensing* dari Luxmeter ditempelkan pada keluaran serat optik secara tegak lurus hingga mendapatkan nilai intensitas penerangan yang stabil. Nilai yang terukur kemudian dimasukkan pada *Ms. Excel* untuk menghitung nilai karakterisasi dan memperoleh grafik hubungan antara intensitas dengan pergeseran, *excess loss* dengan pergeseran, *coupling ratio* dengan pergeseran, dan *insertion loss* dengan pergeseran.

Pengambilan data berupa citra juga dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini. Citra diambil setiap pergeseran 0,05 mm di ruang gelap. Gambar 3.12 adalah *set-up* alat pengambilan data citra yang dilakukan dengan menangkap cahaya keluaran dari

serat optik yang terbentuk pada layar menggunakan Logitech HD Webcam C270. Cahaya keluaran yang terbentuk pada layar berwarna merah dan berbentuk lingkaran yang sesuai dengan bentuk dari serat optik. Citra yang tertangkap oleh Webcam disimpan di dalam laptop kemudian dianalisa menggunakan *software Matlab* untuk mendapatkan grafik distribusi intensitas pada citra tersebut.



Gambar 3.11 *Set-up* Alat Pengambilan Data Menggunakan Luxmeter



Gambar 3.12 *Set-up* Alat Pengambilan Data Citra

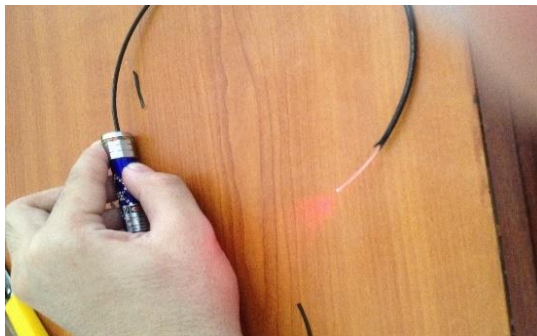
## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian Tugas Akhir tentang pengaturan daya keluaran pada *Splitter* menggunakan pergeseran mikro telah difabrikasi dengan memanfaatkan substrat *Acrylic*. Pembuatan *Splitter* ini tidak dibuat dengan metode *heating and pressing* karena metode tersebut merusak struktur dari serat optik karena tekanan dan pemanasan. Dari hasil pengukuran menggunakan Luxmeter diperoleh grafik hubungan intensitas cahaya tiap pergeseran dan data dalam format *Excel* yang berupa intensitas cahaya dalam satuan lux. Selain data tersebut, hasil pengukuran pada penelitian Tugas Akhir ini didapatkan data berupa citra pada tiap pergeseran 0,05 mm.

#### **4.1 Analisis Diameter Core dan Cladding Serat Optik**

Serat optik yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah tipe FD-620-10 dari Autonics, Korea. Serat optik yang terkelupas bagian *Coating* seperti pada Gambar 4.1 kemudian diamati menggunakan mikroskop cahaya seperti pada Gambar 4.2.



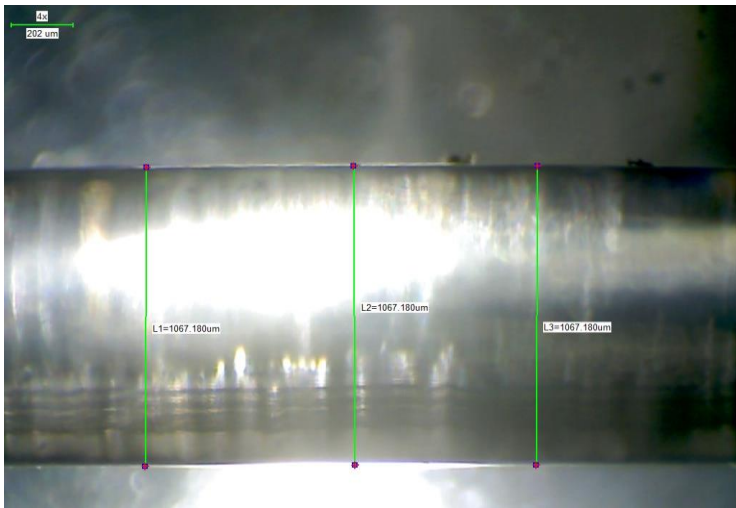
Gambar 4.1 *Coating* Serat Optik yang Terkelupas

Hal ini dilakukan untuk mengetahui diameter gabungan *core* dan *cladding*. Hasil pengamatan tersebut digunakan untuk menentukan pergeseran mikro yang diperlukan untuk mengatur daya keluaran serat optik. Berdasarkan hasil pengamatan dengan mikroskop cahaya perbesaran  $4 \times$  diperoleh diameter gabungan *core* dan *cladding* dari serat optik ini adalah  $1067,180 \mu\text{m}$  atau  $1,06718 \text{ mm}$ . Dari hasil pengukuran diameter gabungan *core* dan *cladding* ini maka diperlukan total pergeseran sebesar  $1 \text{ mm}$  untuk merubah posisi serat optik 0 dari Serat Optik 2 ke Serat Optik 1 di titik persambungan.



Gambar 4.2 Pengamatan Diameter Gabungan *Core* dan *Cladding* Menggunakan Mikroskop Cahaya

*Software* yang digunakan untuk melakukan pengamatan serat optik menggunakan mikroskop cahaya adalah *ScopeImage 9.0*. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.3 yang menunjukkan struktur luar serat optik yang tidak rusak, selain itu pengamatan menggunakan *software ScopeImage 9.0* dapat mengukur diameter gabungan *core* dan *cladding* secara praktis.



Gambar 4.3 Hasil Pengamatan Diameter Gabungan *Core* dan *Cladding*

#### 4.2 Analisis *Lateral Displacement* dan *Misangular Alignment*

Pergeseran yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini menggunakan mikrometer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4. Skala nonius pada mikrometer memiliki angka-angka yang mewakili skala mikrometer yaitu 0,01 mm. Skala nonius terdiri dari 50 buah garis dalam satu putaran penuh.

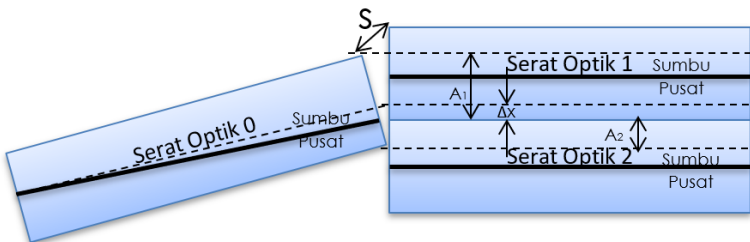


Gambar 4.4 Mikrometer dengan Ketelitian 0,01 mm

Jika skala nonius diputar penuh, poros geser pada mikrometer bergeser sebanyak 0,5 mm. Sehingga setiap garis pada skala nonius mewakili ketebalan sebesar:

$$\text{Ketebalan antar garis pada skala nonius} = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ mm}$$

Besar pergeseran mikro yang diperlukan adalah 0,01 mm dimulai dari posisi serat optik 0 tepat pada salah satu keluaran serat optik dan total pergeseran mikro untuk menggeser serat optik 0 di titik persambungan tepat pada serat optik 2 menuju serat optik 1 adalah 1 mm. Pada Gambar 4.5 menunjukkan pergeseran serat optik 0 menuju serat optik 1 dengan pergeseran sebesar  $\Delta x$ . Pada titik persambungan ini terjadi *Misalignment Effect* dengan gap persambungan sebesar  $S$ . Pergeseran masukan serat optik 0 menimbulkan area tumpang tindih  $A_1$  dan  $A_2$  dengan luas berbeda-beda bergantung dari pergeseran mikro  $\Delta x$  yang dilakukan pada masukan serat optik 0 di titik persambungan.



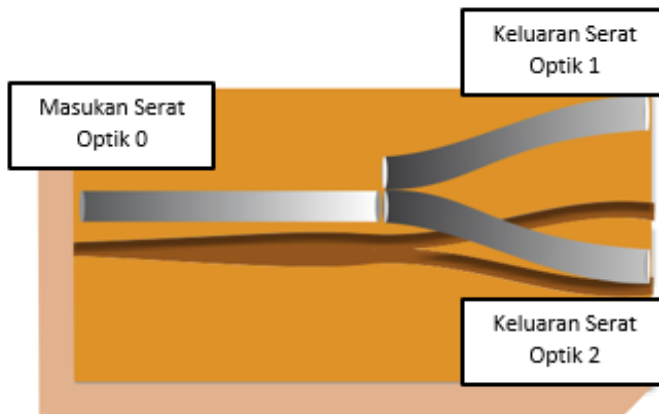
Gambar 4.5 *Angular Misalignment* dari Masukan Serat Optik ke Keluaran Serat Optik dengan Gap sebesar  $S$

Pergeseran masukan serat optik 0 tepat pada serat optik 2 menuju serat optik 1 menghasilkan dua *Misalignment Effect* yaitu *Lateral Displacement* dan *Angular Misalignment*. Kedua mekanisme

tersebut termasuk dalam kategori *Joining Losses*. Pada titik persambungan, celah antar masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 1 dan 2 dibuat sekecil mungkin untuk meminimalkan *Joining Losses* yang terjadi.

#### 4.3 Analisis Grafik Hubungan antara Intensitas Cahaya dengan Pergeseran Mikro Hasil Pengukuran Menggunakan Luxmeter

Pengambilan data dilakukan dengan menempatkan masukan serat optik 0 sejajar dengan salah satu keluaran serat optik. Pengukuran dimulai dengan menempatkan masukan serat optik 0 tepat pada serat optik 2 seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Posisi Keluaran Serat Optik 1 dan 2

Serat optik yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah jenis serat optik Moda Jamak *Step-Index*. Serat optik Moda Jamak dapat diketahui melalui diameter *core* yang lebih besar dari 8  $\mu\text{m}$ . Jenis serat optik FD-620-10 ini memiliki *cladding* dengan diameter lebih besar dari diameter *core*.



Substrat yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah *Acrylic* transparan dan bewarna bening. *Acrylic* merupakan *Polymethyl Methacrylate* yang berupa polimer sintesis. *Acrylic* memiliki keuntungan sebagai substrat dalam pembuatan *Splitter* ini karena sedikit sekali menyerap sinar yang melalui media tersebut. Meskipun kaca adalah bening, kaca menyerap cahaya yang masuk sehingga semakin tebal kaca maka semakin sedikit sinar yang dapat melaluinya dan sifat tembus pandangnya makin berkurang. Sedangkan *Acrylic*, penyerapan sinar yang terjadi sangat kecil walaupun tebalnya bertambah dan sifat transparannya tidak banyak berubah. Selain itu, kaca lebih bersifat getas (mudah patah, rapuh, dan mudah pecah) jika dibandingkan dengan *Acrylic*. *Acrylic* bersifat lebih elastis, sehingga secara teknis lebih dapat bertahan pada hentakan dan tekanan. Di samping itu, hal yang merugikan adalah kaca akan berlumut, sedangkan pada *Acrylic* tidak berlumut sehingga aman ditempatkan pada suhu ekstrem.

Cahaya dapat merambat di dalam serat optik melalui sejumlah lintasan yang berbeda. Lintasan cahaya yang berbeda-beda ini disebut mode dari suatu serat optik. Jenis serat optik dalam penelitian Tugas Akhir ini memiliki ukuran diameter *cladding* yang lebih besar daripada *core* sehingga cahaya yang melalui serat optik ini lebih dari satu mode dan disebut serat optik moda jamak. Cahaya yang terpandu di dalam serat optik moda jamak akan merambat sebagai mode orde tinggi dan mode orde rendah. Menurut (Hariyanto, 2011) serat optik tipe FD-620-10 ini memiliki indeks bias *core* 1,492 dan indeks bias *cladding* 1,417 sehingga *Numerical Aperture* (NA) dari serat optik ini dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7) sebagai berikut:

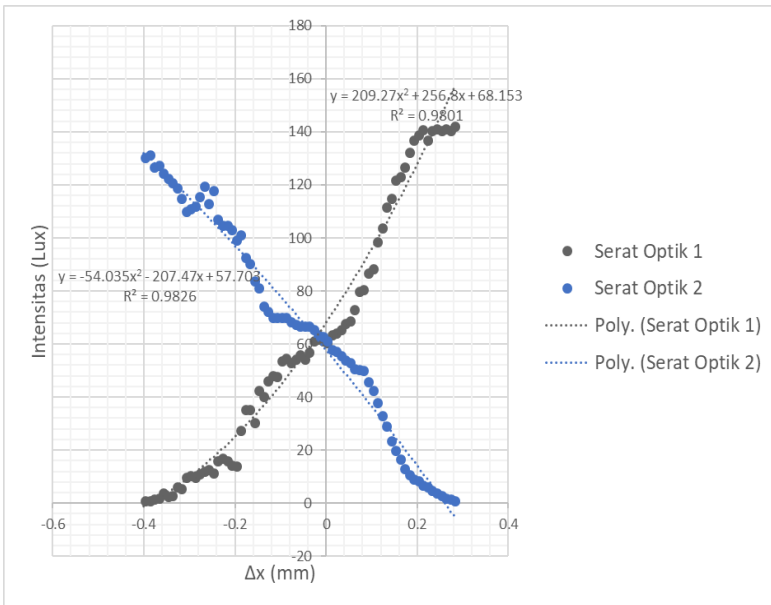
$$NA = \sin \theta_{\text{max}} = \sqrt{1,492^2 - 1,417^2} = 0,47$$

Dengan sudut penerimaan maksimum sebesar:

$$\sin \theta_{\max} = 0,47$$

$$\theta_{\max} = 28,03^\circ$$

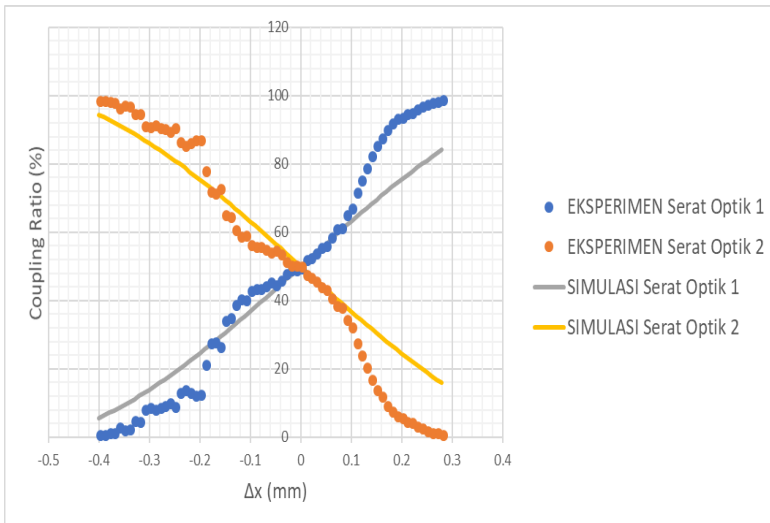
Dari hasil pengambilan data menggunakan alat ukur BF5R-D1-N sebagai sumber cahaya dan Luxmeter sebagai detektor diperoleh Grafik Hubungan Intensitas (lux) dengan Pergeseran Mikro (mm) seperti pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Intensitas (Lux) dengan Pergeseran (mm)

Grafik 4.7 menunjukkan perubahan intensitas cahaya akibat perubahan pergeseran masukan serat optik 0. Pada pergeseran -0,4 mm, intensitas cahaya yang terukur pada keluaran serat optik 2 lebih besar daripada serat optik 1. Hal ini dikarenakan

masukannya serat optik 0 berada tepat pada keluarannya serat optik 2, sehingga luas *overlapped area* antara serat optik 0 dengan serat optik 2 lebih besar. Semua berkas cahaya dari masukan serat optik 0 ditransmisikan menuju keluaran serat optik 2. Pada kondisi ini tidak ada *non-overlapped area* yang terbentuk di antara serat optik 0 dengan serat optik 2. Seiring dengan bertambahnya pergeseran, maka luas *overlapped area* yang terbentuk antara masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 2 semakin mengecil sedangkan luas *overlapped area* antara masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 1 semakin membesar. Hal ini terlihat pada grafik yang menunjukkan penurunan intensitas keluaran untuk serat optik 2 dan penambahan intensitas keluaran untuk serat optik 1.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan *Coupling Ratio* (%) dengan Pergeseran Mikro (mm)

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada pergeseran 0 mm, kedua keluaran serat optik yaitu serat optik 2 dan serat optik 1

membagi intensitas keluaran sama besar yakni 60,86 Lx dan 61,66 Lx dengan *coupling ratio* 49,67% dan 50,33% dari intensitas masukan sebesar 356,8 Lx. Ketidaksesuaian 117,54 Lx dan 116,74 Lx dari 178,4 Lx dikarenakan oleh 22% dari *non-overlapped area* yang terbentuk antara serat optik masukan dengan serat optik keluaran seperti pada Gambar 4.12 dan rugi daya yang disebabkan oleh faktor intrinsik dan ekstrinsik. Pada pergeseran 0 mm, berkas cahaya dari masukan serat optik 0 terbagi menjadi dua keluaran melalui serat optik 1 dan serat optik 2 dengan proporsi daya 50:50.

Hasil pengukuran diameter gabungan *core* dan *cladding* dari serat optik yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah 1,067 mm. Berdasarkan besar diameter tersebut, pembagian berkas cahaya seharusnya terjadi pada pergeseran 0,50 mm tetapi pada pengambilan data menunjukkan bahwa pembagian berkas cahaya terjadi pada pergeseran 0,40 mm. Selain itu pada pergeseran 0,68 mm, keluaran serat optik 1 memiliki nilai intensitas tertinggi, seharusnya pada pergeseran 1 mm adalah intensitas tertinggi untuk keluaran serat optik 1. Ketidaksesuaian dari hasil penelitian Tugas Akhir ini dikarenakan dua faktor yaitu *Lateral Displacement* dan *Misangular Alignment* yang terjadi pada interaksi antara masukan serat optik 0 dengan besi pendorong yang menyebabkan masukan serat optik 0 tidak tepat pada kedua *ouput* serat optik 1 dan 2 pada posisi-posisi tertentu.

Dari grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7 diperoleh persamaan polinomial orde 2 yaitu  $y = 209,27x^2 + 256,8x + 68,153$  yang mempunyai koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,9801 untuk Serat Optik 1 dan  $y = -54,035x^2 - 207,47x + 57,703$  yang mempunyai koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,9826 untuk Serat Optik 2. Kedua persamaan polinomial orde 2 tersebut mengartikan bahwa  $y$  adalah fungsi  $x$  sehingga  $y$  adalah besar daya

dan  $x$  adalah pergeseran mikro dari masukan serat optik 0 pada titik persambungan. Dari persamaan regresi polinomial di atas diperoleh nilai koefisien regresi sebesar 209,27 dan 256,8 untuk Serat Optik 1 dan -54,035 dan -207,47 untuk Serat Optik 2. Tanda (-) atau (+) pada kedua nilai tersebut dapat diartikan sebagai angka penurunan atau peningkatan variabel. Untuk Serat Optik 1 bernilai positif yang menunjukkan grafik peningkatan variabel, sedangkan untuk Serat Optik 2 bernilai negatif yang menunjukkan penurunan variabel.

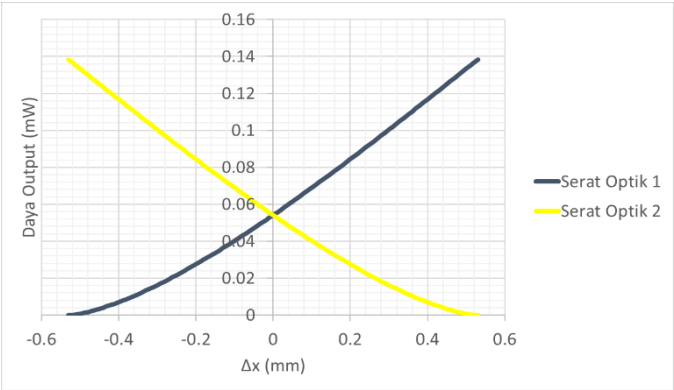
Pada grafik juga diperoleh nilai koefisien determinasi  $R^2 = 0,9801$  untuk Serat Optik 1 dan  $R^2 = 0,9826$  untuk Serat Optik 2. Nilai  $R$  ini adalah koefisien korelasi yaitu nilai keeratan korelasi antara intensitas yang terukur (lux) pada Luxmeter dengan pergeseran. Untuk Serat Optik 1, nilai koefisien relasinya  $R = 0,99$  dan untuk Serat Optik 2, nilai koefisien relasinya  $R = 0,9913$ . Berdasarkan tabel nilai koefisien korelasi, korelasi antara pergeseran masukan serat optik 0 terhadap intensitas (lux) yang terukur pada Serat Optik 1 termasuk kategori sangat kuat karena berada pada *range* nilai koefisien korelasi 0,80 – 1,000 sedangkan korelasi antara pergeseran masukan serat optik 0 terhadap intensitas (lux) yang terukur pada Serat Optik 2 termasuk kategori sangat kuat karena berada pada *range* 0,80 – 1,000. Perubahan nilai intensitas (lux) yang terukur pada Serat Optik 1 terhadap pergeseran adalah 98,01 % dan pada Serat Optik 2 adalah 98,26 %. Kedua nilai koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa perubahan pergeseran masukan serat optik 0 sangat mempengaruhi intensitas yang dihasilkan oleh keluaran serat optik 1 dan 2.

Tabel 4.1 Nilai Koefisien Korelasi

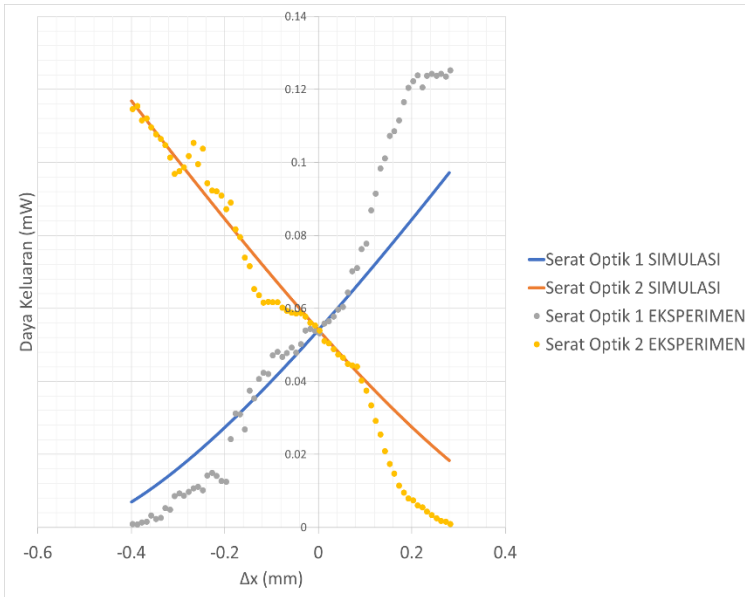
Nilai Koefisien Korelasi	Keterangan
0,00-0,199	Sangat rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Cukup
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,000	Sangat kuat

Sumber: Sudjana (1982) dikutip Anggraeni (2008)

Pendekatan hasil simulasi terhadap eksperimen dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini dengan mengkonversi satuan Lux ke dalam daya. Untuk mendapatkan *fitting data* (pencocokan kurva) antara simulasi dengan eksperimen, maka grafik intensitas eksperimen pada Gambar 4.7 diubah ke dalam grafik daya. Gambar 4.10 adalah grafik hasil simulasi dari Persamaan (2.33) dengan interval pergeseran dari -0,53 mm sampai +0,53 mm.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi dari Persamaan (2.33)



Gambar 4.10 Grafik Hasil *Fitting Data* antara Simulasi dengan Eksperimen

Gambar 4.10 merupakan grafik yang menunjukkan hasil *Fitting Data* simulasi dan eksperimen dalam penelitian Tugas Akhir ini. Kedua grafik menunjukkan bahwa *Splitter* mampu mengatur daya keluaran pada setiap pergeseran. Tetapi grafik antara simulasi dan eksperimen tidak berhimpit pada pergeseran 0,10 sampai dengan 0,28 mm karena eksperimen yang dilakukan kurang presisi. Hal ini dikarenakan *Misangular Alignment* dan *Lateral Displacement* tidak lurus pada beberapa posisi pergeseran sehingga berkas cahaya yang tertangkap oleh detektor berbeda-beda. Selain itu substrat yang digunakan kurang kompak sehingga ada pergeseran yang terlewatkan. Perubahan posisi masukan serat optik sangat berpengaruh dalam menentukan proporsi daya

keluaran yang diinginkan. Posisi masukan serat optik yang tidak tepat pada keluaran serat optik akan menghasilkan *error data* dimana *overlapped area* yang terbentuk tidak berbentuk irisan lingkaran. Perbedaan luas *overlapped area* menyebabkan berkas cahaya yang ditransmisikan berbeda-beda karena berkas cahaya yang berpropagasi di dalam serat optik memiliki pola *skewed rays*.

#### 4.4 Analisis Rugi Daya pada Splitter

Sumber cahaya yang digunakan pada Penelitian Tugas Akhir ini adalah LED Merah dengan panjang gelombang 660 nm yang termasuk spektrum cahaya tampak. Pada hasil pengukuran didapatkan nilai total daya keluaran yang terukur pada Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 cenderung mengalami penurunan dari total daya masukan yang diberikan oleh sumber cahaya LED Merah. Pelemahan daya (atenuasi) atau rugi daya ini disebabkan oleh faktor-faktor ekstrinsik dan intrinsik. Faktor intrinsik yang menyebabkan pelemahan daya antara lain *absorption*, *scattering*, dan *microbending losses*. Sinyal optik yang dipancarkan oleh sumber cahaya akan melemah secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jarak transmisi sehingga daya keluaran yang terukur akan lebih kecil daripada daya masukan. Selain itu, sumber cahaya yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah LED Merah dengan panjang gelombang 660 nm. Penggunaan LED Merah ini juga mempertimbangkan rugi daya yang disebabkan oleh *scattering* dan *absorption losses*. Kedua mekanisme ini adalah fungsi panjang gelombang. Pada panjang gelombang 660 nm, serat optik moda jamak mengalami atenuasi daya sebesar 125 dB/km atau 0,125 dB/m dari LED Merah. Selain itu rugi daya pada penelitian Tugas Akhir ini juga disebabkan oleh *microbending*. *Microbending* menyebabkan perubahan sudut kritis pada bidang batas antara *core* dengan *cladding* sehingga sebagian berkas



cahaya tidak mengalami pemantulan internal total. Berkas cahaya tersebut mengalami *cladding mode* karena sudut datang lebih kecil dari sudut kritis. Rugi daya ini terjadi ketika serat optik mengalami kerusakan struktur dalam skala mikro yang tidak dapat dilihat secara kasat mata. Kerusakan struktur serat optik terjadi ketika pada saat pengupasan *coating* serat optik dan tergoresnya batas permukaan *cladding* dan *core* serat optik dengan dinding *Acrylic* yang belum rata. Kedua hal tersebut menyebabkan lekukan-lekukan skala mikro pada batas permukaan *core* dengan *cladding*. *Microbending* menyebabkan sumber cahaya dari mode orde tinggi yang berpropagasi di dalam *core* akan hilang karena terjadi perubahan radius *core*. Perubahan radius *core* akan berpengaruh pada besar NA (*Numerical Aperture*) sehingga sudut sinar datang lebih besar dari pada NA.

Beberapa faktor ekstrinsik yang mempengaruhi hasil pengukuran di luar variabel bebas (pergeseran dan intensitas cahaya) antara lain adanya gap antar masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 1 dan serat optik 2 pada titik persambungan. Cahaya yang merambat di dalam masukan serat optik 0 akan mengenai suatu gap berupa udara dengan indeks bias sama dengan 1. Perbedaan indeks bias antara *core* dengan udara yang secara tiba-tiba ini mengakibatkan sebagian kecil dari daya yang ditransmisikan oleh sumber cahaya terpantul kembali. Fenomena ini disebut *Fresnel Reflection* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{reflected power} = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (4.1)$$

Indeks bias *core*  $n_1 = 1,492$

Indeks bias udara  $n_2 = 1$

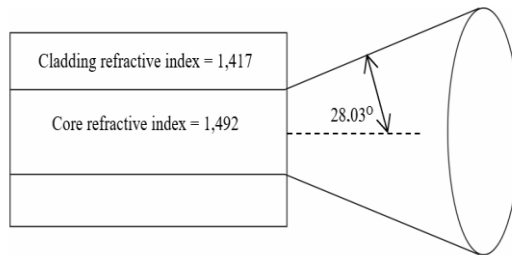
$$reflected\ power = \left( \frac{1,492 - 1}{1,492 + 1} \right)^2$$

$$reflected\ power = \left( \frac{0,492}{2,492} \right)^2$$

$$reflected\ power = (0,2)^2 = 0,04 = 4\%$$

Sehingga daya yang dipantulkan kembali sebesar 4% dari daya total yang ditransmisikan oleh sumber cahaya LED Merah.

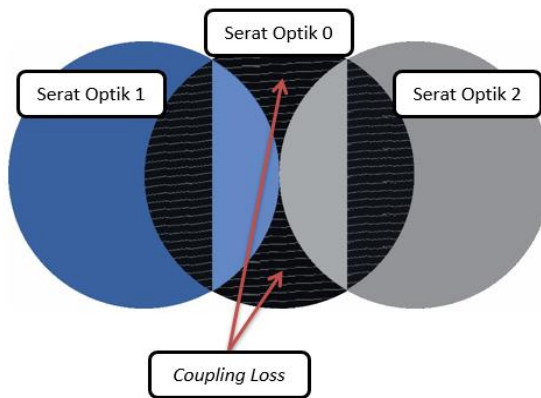
Selain itu rugi daya dari faktor ekstrinsik juga dipengaruhi oleh *Angular Misalignment*. Pergeseran masukan Serat Optik 0 yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9 menghasilkan gap sebesar  $\phi$ . Adanya gap tersebut menyebabkan cahaya yang ditransmisikan oleh Serat Optik 0 keluar dari sudut penerimaan maksimum Serat Optik 1 seperti pada Gambar 4.11 sehingga mengalami *loss*.



Gambar 4.11 Sudut Penerimaan Maksimum Serat Optik Plastik

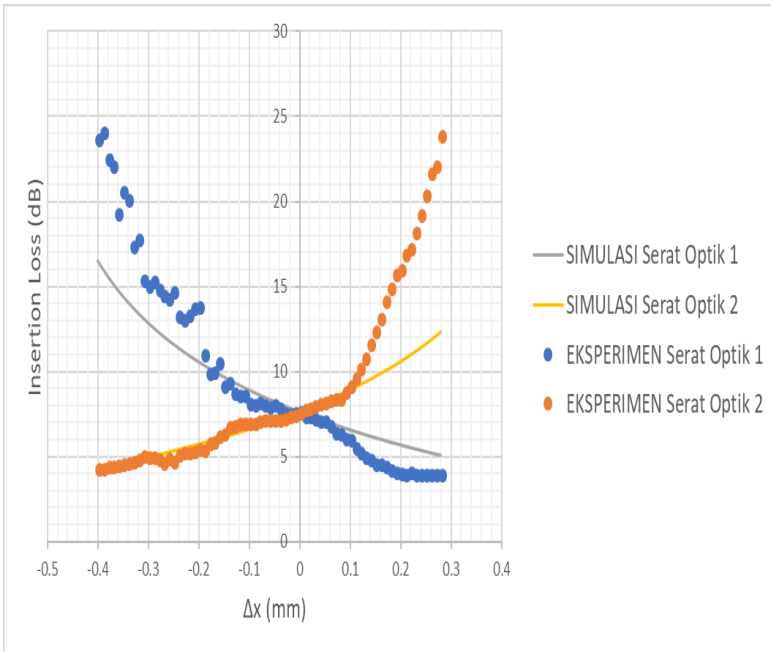
Pergeseran masukan serat optik 0 menyebabkan perbedaan luas *overlapped area* antara Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 yang dapat dilalui berkas cahaya. Rugi daya pada kedua keluaran tersebut dikarenakan adanya 22% *non-overlapping area* seperti pada Gambar 4.12 sehingga berkas cahaya tidak ditransmisikan melalui dua keluaran serat optik melainkan keluar dari keluaran

serat optik menuju ruang bebas udara. Perbedaan *insertion loss* yang dimiliki kedua keluaran serat optik 1 dan 2 dikarenakan perbedaan luas *overlapped area* yang terbentuk. Semakin besar luas *overlapped area* yang terbentuk, semakin banyak berkas cahaya yang dapat dipandu dari masukan serat optik 0 ke keluaran serat optik 1 dan 2 sehingga *insertion loss* yang dihasilkan semakin rendah.



Gambar 4.12 *Coupling Loss* pada *Non-Overlapping Area*

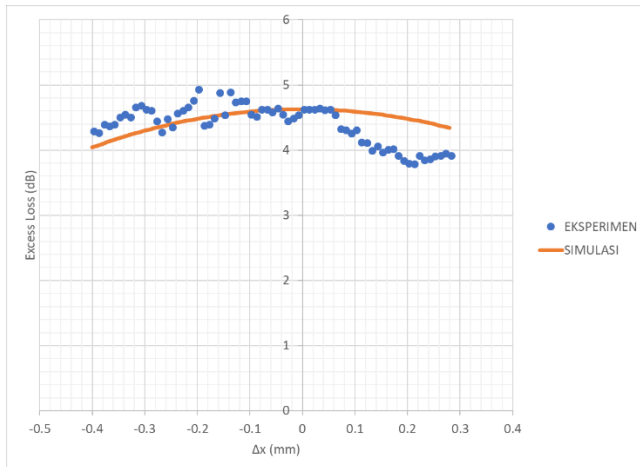
Grafik 4.14 menunjukkan bahwa pada pergeseran 0 mm, Serat Optik 1 eksperimen memiliki *insertion loss* yaitu 7,6809 dB dan Serat Optik 2 eksperimen memiliki *insertion loss* sebesar 7,6242 dB. Rugi daya pada kedua keluaran tersebut dikarenakan adanya *non-overlapping area* sehingga berkas cahaya tidak terpandu melalui dua keluaran Serat Optik melainkan keluar dari Serat Optik menuju ruang bebas udara dan hal tersebut menambah rugi daya yang terjadi. Perbedaan grafik *insertion loss* yang dimiliki oleh kedua keluaran serat optik 1 dan 2 dikarenakan perbedaan luas *overlapped area* yang terbentuk antara serat optik masukan dengan serat optik keluaran



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Pergeseran Mikro dengan *Insertion Loss* (dB)

Semakin besar luas *overlapped area* yang terbentuk, semakin banyak berkas cahaya yang dapat dipandu dari masukan Serat Optik 0 ke keluaran serat optik 1 atau 2 sehingga *insertion loss* yang dihasilkan semakin rendah. Seiring dengan bertambahnya pergeseran, grafik *insertion loss* meningkat pada serat optik 2 dikarenakan luas *overlapped area* yang terbentuk semakin kecil sehingga *insertion loss* yang dihasilkan meningkat. Sebaliknya untuk Serat Optik 1, grafik *insertion loss* menurun dikarenakan luas *overlapped area* yang terbentuk antara Serat Optik 0 dengan Serat Optik 1 semakin besar.

*Excess loss* menggambarkan rugi daya total yang dihasilkan oleh *Splitter* ini. Pergeseran dari masukan Serat Optik 0 menghasilkan rugi daya total (*excess loss*) dalam interval 4 – 5 dB. *Excess loss* eksperimen sebesar 4,64 dB untuk 3-dB (50:50) beroperasi pada panjang gelombang 660 nm ditunjukkan oleh Gambar 4.14. *Excess loss* menurun karena sebagian besar dari masukan serat optik 0 terkopel ke dalam keluaran serat optik keluaran untuk  $\Delta x > \pm 0$  mm. Penurunan grafik lebih curam untuk  $\Delta x > 0$  mm menunjukkan bahwa keluaran serat optik 1 mengalami rugi daya lebih kecil daripada keluaran serat optik 2. Grafik *excess loss* cenderung stabil dikarenakan banyak faktor yang ikut berkontribusi dalam rugi daya yang dihasilkan oleh *Splitter* pada penelitian Tugas Akhir ini. Faktor-faktor tersebut adalah *Fresnell reflection*, *Misangular alignment*, *Lateral displacement*, *Microbending*, *Absorption Loss*, dan *Scattering Loss*.

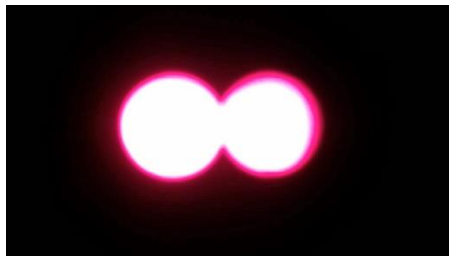


Gambar 4.14 Grafik Hubungan Pergeseran Mikro dengan *Excess Loss* (dB)

Melalui gambaran grafik *Excess Loss* dapat dikatakan bahwa *Splitter* yang difabrikasi pada penelitian Tugas Akhir ini menghasilkan rugi daya yang cukup besar. Rugi daya tersebut perlu diminimalisir kembali untuk mendapatkan peformance terbaik dari *Splitter* sehingga *Splitter* ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi terutama untuk sensor dan telekomunikasi. Menurut (Prajzler et al., 2014) hasil fabrikasi 1x2 *Splitter* menghasilkan *coupling ratio* 52:48 dengan *losses* sebesar 4,1 dB beroperasi menggunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang 650 nm. Peneliti lain oleh (Syafiqah Mohamed-Kassim and Kamil Abd-Rahman, 2017) memperoleh *losses* sebesar 1,68 dB untuk 3-dB beroperasi pada panjang gelombang 632,8 nm dari *Splitter* yang dibuatnya.

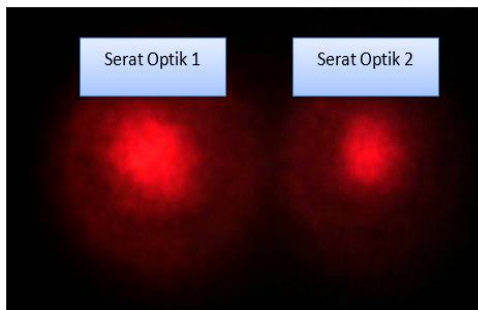
#### 4.5 Analisis Citra

Pengambilan data citra dilakukan setiap pergeseran 0,05 mm menggunakan ‘Logitech HD Webcam C270’ yang terhubung dengan Laptop. Citra yang diperoleh dari hasil pengukuran ini adalah berwarna merah dengan intensitas yang terlalu tinggi sehingga citra yang diperoleh berwarna putih seperti pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Citra tanpa Layar

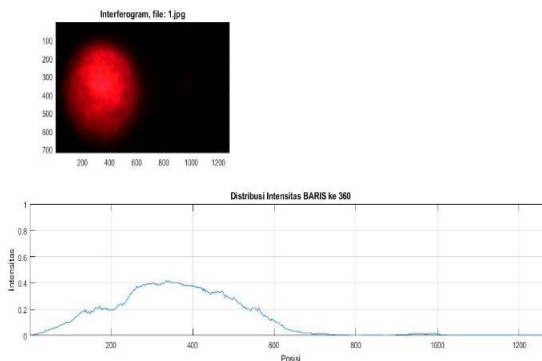
Untuk mengurangi intensitas tersebut, pengambilan data citra difilter menggunakan layar yang dilapisi dengan kertas HVS sehingga cahaya akan terhamburkan oleh filter tersebut, maka didapatkan citra dengan warna merah cerah seperti pada Gambar 4.16. Proses pada citra dilakukan piksel per piksel, dimulai dari titik origin sampai titik akhir citra. Citra diolah menggunakan *software Matlab* untuk mendapatkan informasi dari citra tersebut. Distribusi intensitas dilakukan dengan mengolah citra menggunakan domain spasial.



Gambar 4.16 Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2

Citra yang diperoleh dalam penelitian Tugas Akhir ini menggambarkan distribusi intensitas dari masukan serat optik 0 yang dibelokkan dengan pergeseran mikro dari 0 sampai 0,68 mm menggunakan mikrometer dimana bagian kiri dari citra tersebut adalah Serat Optik 1 dan bagian kanan dari citra tersebut adalah Serat Optik 2 seperti pada Gambar 4.16. Pembelokan masukan serat optik 0 dilakukan dengan pergeseran 0,01 mm. Tiap pergeseran sangat menentukan banyaknya berkas cahaya yang dapat dipandu melalui kedua keluaran serat optik tersebut sehingga grafik distribusi intensitas yang didapat dari citra keluaran akan berbeda-beda.

Dari Grafik pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa Serat Optik 1 menerima banyak cahaya yang digambarkan melalui kenaikan intensitas dengan nilai intensitas maksimum adalah 0,4. Pada posisi tersebut, masukan serat optik 0 tepat pada keluaran serat optik 1 secara merata, sehingga luas *Overlapped Area* dari Serat Optik 0 dan Serat Optik 1 adalah sama dengan kedua luas Serat Optik tersebut. Semua berkas cahaya yang ditransmisikan melalui Serat Optik 0 terpandu menuju Serat Optik 1 sehingga citra pada keluaran Serat Optik 1 bewarna merah terang. Sedangkan citra pada keluaran Serat Optik 2 bewarna gelap dikarenakan tidak ada cahaya yang terpandu ke dalam Serat Optik tersebut. Dari grafik pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai intensitas dari citra keluaran serat optik 2 mendekati nol yang artinya tidak ada cahaya yang masuk pada Serat Optik 2.

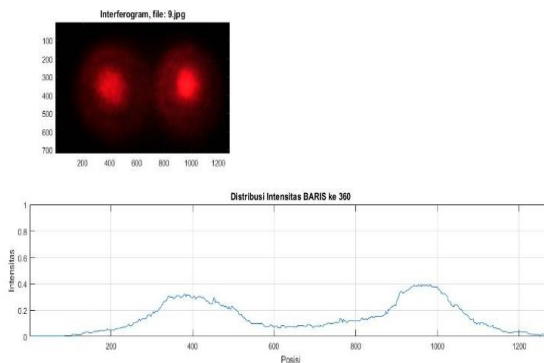


Gambar 4.17 Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0 mm

Pada gambar 4.18 menunjukkan distribusi intensitas cahaya sama rata di antara kedua keluaran serat optik. Pergeseran 0,40 mm membelokkan masukan serat optik 0 pada posisi tengah

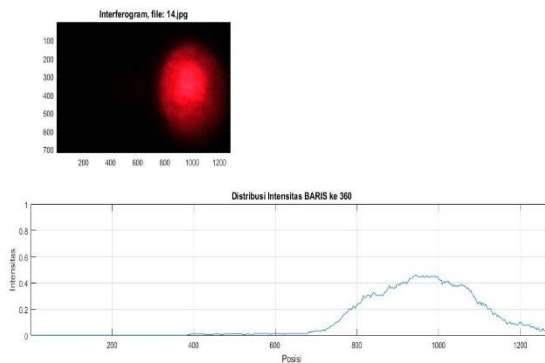


di antara kedua keluaran serat optik sehingga citra dari keluaran serat optik 1 dan serat optik 2 bewarna merah dengan puncak grafik intensitas yang sama. Pada posisi tersebut, luas *overlapped area* antara masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 1 dan masukan serat optik 0 dengan keluaran serat optik 2 adalah sama. Hal ini menyebabkan berkas cahaya dari masukan serat optik 0 terbagi menjadi dua yang masing-masing terpandu pada keluaran serat optik 1 dan 2. Oleh karena itu, piranti *Splitter* dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat berfungsi sebagai pembagi berkas cahaya dengan *coupling ratio* 49,67:50,32%. Dari grafik pada Gambar 4.18 yang diperoleh, puncak grafik intensitas untuk keluaran serat optik 1 mempunyai intensitas maksimum sebesar 0,30 dan untuk keluaran serat optik 2 dengan nilai intensitas maksimum adalah 0,4. Dengan mengetahui nilai intensitas maksimum kedua keluaran serat optik yang sama, maka pada pergeseran 0,40 mm terjadi pembagi berkas cahaya dari satu masukan cahaya menjadi dua keluaran cahaya dengan daya keluaran yang sama.



Gambar 4.18 Representasi Grafik Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,40 mm

Pada Gambar 4.19 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan grafik intensitas penerangan dari kedua citra yaitu citra dari keluaran serat optik 1 dan serat optik 2. Citra dari keluaran serat optik 1 berwarna gelap yang menandakan intensitas yang rendah dan citra dari keluaran serat optik 2 berwarna merah terang yang menandakan intensitas yang tinggi.



Gambar 4.19 Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,65 mm

Perbedaan kedua intensitas dari citra tersebut menunjukkan perbedaan posisi dari masukan serat optik 0. Pada keluaran serat optik 1 berwarna gelap karena tidak ada cahaya yang terpandu pada Serat Optik tersebut, sedangkan keluaran serat optik 2 berwarna merah terang karena masukan serat optik 0 tepat pada keluaran serat optik 2 sehingga semua berkas cahaya dari masukan serat optik 0 ditransmisikan secara total pada Serat Optik 2. Dari grafik pada Gambar 4.19 menunjukkan distribusi intensitas yang diperoleh dari kedua citra tersebut bahwa citra keluaran serat optik 2 mempunyai nilai intensitas maksimum sebesar 0,42 dan citra keluaran serat optik 1 mempunyai nilai intensitas minimum

mendekati nol. Dari hasil nilai intensitas tersebut dapat disimpulkan bahwa posisi masukan serat optik 0 berada tepat pada keluaran serat optik 2 di pergeseran 0,65 mm.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir tentang “**Fabrikasi dan Karakterisasi *POF Multimode Splitter* Sebagai *Power Divider* Menggunakan Pergeseran Mikro**” yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain dan Fabrikasi *Splitter* pada penelitian Tugas Akhir ini menghasilkan daya keluaran yang dapat diatur menggunakan pergeseran mikro.
2. Pembagi berkas cahaya (*Beam Splitter*) pada 3-dB (50:50) *Splitter* ini terjadi pada pergeseran 0,40 mm dengan *coupling ratio* 50,32% untuk Serat Optik 2 dan 49,67% untuk Serat Optik 1 dengan *loss* sebesar 4,64 dB.
3. Analisis representasi grafik intensitas citra keluaran serat optik 1 dan serat optik 2 pada tiap pergeseran menghasilkan kenaikan grafik intensitas yang berbeda-beda sehingga pergeseran sebesar 0,01 mm dapat mengatur daya keluaran secara signifikan.
4. *Splitter* dalam penelitian Tugas Akhir ini dapat mengatur daya keluaran secara signifikan dari 0 – 0,49 mm, selanjutnya pergeseran dari 0,50 – 0,68 mm menunjukkan ketidakteraturan daya keluaran dikarenakan oleh rugi daya yang dihasilkan oleh dua faktor utama yaitu *Misangular Alignment* dan *Lateral Displacement*.

## 5.2 Saran

Saran dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Desain cetakan *Splitter* yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini seharusnya kompak, kuat, keras, dan tanpa celah antar persambungan serat optik, serat optik dengan pendorong, dan serat optik dengan sumber-detektor sehingga memudahkan dalam proses karakterisasi.
2. Cetakan *Splitter* yang digunakan seharusnya rata dan halus sehingga tidak merusak serat optik.
3. Serat Optik yang telah dikupas bagian *Coating* seharusnya diuji menggunakan *Stereo Microscope* untuk mengetahui kebocoran yang terjadi sehingga kebocoran tersebut dapat diminimalkan.
4. Penelitian Tugas Akhir ini memerlukan tingkat kepresisian yang tinggi sehingga alat ukur yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini seharusnya memiliki tingkat akurasi dan sensitivitas yang tinggi karena pergeseran yang digunakan kecil sekali yaitu 0,01 mm.
5. Pengambilan data seharusnya dilakukan dengan memantau tiap pergeseran menggunakan *Stereo Microscope* untuk meminimalkan terjadinya *error data* karena *Misangular Alignment* dan *Lateral Displacement*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Rahman, M.K., Mohamed-Kassim, N.S., Ehsan, A.A., Yusoff, M.H.M., 2011. **Multimode asymmetrical optical power splitter utilizing hollow structured-waveguide**, in: Proc. Progress Electromagn. Res. Symp. pp. 1483–1486.
- Agrawal, G.P., 2002. **Fiber-optic communication systems**. Wiley-Interscience, New York, NY.
- Crisp, J., 2001. **Introduction to fiber optics**, 2nd ed. Newnes, Oxford; Boston.
- Ehsan, A.A., Shaari, S., Rahman, M.K.A., 2012. **Acrylic-based asymmetric and variable coupling ratio Y-branch plastic optical fiber coupler**. Opt. Rev. 19, 13–19. <https://doi.org/10.1007/s10043-012-0002-1>
- Hantoro, G.D., 2015. FIBER OPTIC “**Teknologi, Material, Instalasi dan Implementasi Fiber untuk Berbagai Kebutuhan**,” 1st ed. INFORMATIKA, Bandung.
- Hariyanto, E., 2011. **Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Mode Jamak Sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas**. Pros. Semin. Nas. Penelit. Pendidik. Dan Penerapan MIPA Fak. MIPA Univ. Negeri Yogyakarta.
- Keiser, G., 1984. **Optical Fiber Communication**, 2nd ed. McGRAW-HILL, New York.
- Kumar, K.S., Machavaram, V.R., 2016. **Fabrication and characterization of Low cost Plastic optical fiber couplers**. Int Res J Eng Technol 3, 1972–1975.
- Powers, J., 1996. **An Introduction to Fiber Optic Systems**, 2nd ed. McGRAW-HILL, New York, NY.
- Prajzler, V., Maštera, R., Špírková, J., Jeřábek, V., 2014. **Compact multimode polymer optical 1 × 2 Y splitters with large core planar waveguide**. J. Opt. 43, 310–316. <https://doi.org/10.1007/s12596-014-0210-0>

- Saleh, B.E., Teich, M.C., 2007. **Fundamentals of Photonics**, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Saleh, B.E., Teich, M.C., 1991. **Fundamentals of Photonics**, 1st ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Syafiqah Mohamed-Kassim, N., Kamil Abd-Rahman, M., 2017. **High resolution tunable POF multimode power splitter**. Opt. Commun. 400, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.05.014>
- Tricker, R.L., 2002. **Optoelectronic and fiber optic technology**. Newnes, Oxford.

## LAMPIRAN

***Lampiran 1:*** Data Pengukuran Intensitas Cahaya (lux) Setiap Pergeseran (mm)

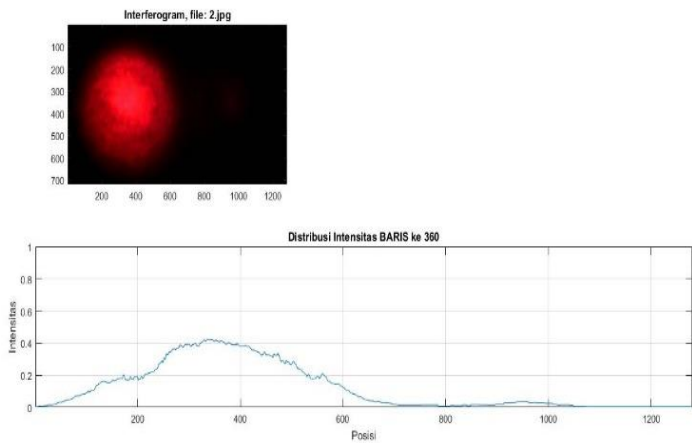
$\Delta x$ (mm)	INTENSITAS CAHAYA (LUX)									
	FIBER 2					FIBER 1				
0	131.5	130	128.5	132	131.5	1.6	1.9	1.2	1.3	1.5
0.01	132	131.3	131.7	131.9	131.4	1.5	1.4	1.2	1.1	1.7
0.02	127	126.8	127.2	127.2	127.6	1.9	1.5	2.3	2	2.1
0.03	128	125.4	135.9	124.6	125	1.7	2	2.3	2.4	2.5
0.04	124.7	125.8	124.3	124.9	125	3.4	4.4	4.7	4.5	3.8
0.05	121.2	123.2	123.5	123.3	123	3.9	3.2	3	2.7	2.6
0.06	120.8	121.8	122	120.4	121.5	4.6	3.9	3.3	2.8	2.5
0.07	121.2	117.9	121.5	118	118.2	5.1	7.3	6.6	6.9	6.3
0.08	116.2	116	115.4	115.3	114.6	6.9	5.7	4.7	6.6	5.6
0.09	116.3	124	106.4	105.6	100	9.1	10.6	10.7	10.4	10.3
0.1	109	109.9	110	108.2	119.7	11	11.3	11.2	10.8	10.5
0.11	109.4	110.4	110.3	110.7	122.1	11.6	11.2	9.8	8.5	10.5
0.12	120.4	121	115.9	102.4	120.6	9.1	9.6	11.1	13.8	14.1
0.13	118.4	117.4	127.3	111.5	126	10.7	13.1	11.5	13.3	14
0.14	115.5	108	118.5	116	109.6	13.7	14	12.6	11.9	13
0.15	114.9	119.1	118.5	119.3	120	12	12.1	11.7	11.8	12.3
0.16	103.4	105	110	109.6	109.9	14.2	16	14.8	19	18.7
0.17	114.5	108.1	102	100.2	101.9	17.6	15.2	14.9	22.9	16.7
0.18	105.5	103.2	106.9	103.9	105.9	19.2	17.5	17.6	14.8	12.8
0.19	105.8	103.4	106.9	100.3	102.3	16.2	13.8	14.7	11.5	18.3
0.2	100.5	103.7	100.2	93.8	99.5	18.4	12	14.6	14.4	13.5
0.21	103	102.6	102.1	99.7	100.4	25.5	26.3	30.1	33.2	24.7
0.22	96.2	93.2	95.4	91	90.3	38.4	36.9	34.2	35.3	34.7
0.23	90.2	91.1	91.1	90.5	90.9	34.3	37.3	38.4	37.7	30.5
0.24	89.5	85.3	82.9	82	82.2	34.2	34.5	28	30.6	27.5



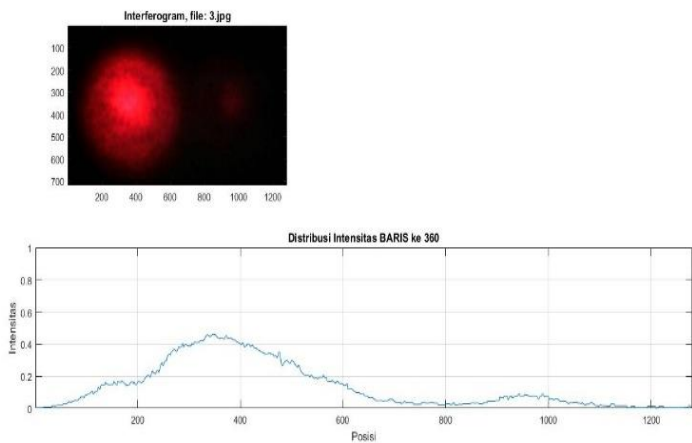
0.25	81.8	82	81.4	81.6	81.9	38	44.3	45.6	43.8	43.3
0.26	75.5	75.2	75	74.1	73.3	44.5	39.5	39.4	39.8	39.7
0.27	73.4	72.5	72.7	73.1	72	43.1	45.1	46.9	51.1	47.1
0.28	71.6	69.7	69.4	70.5	70.6	52.5	49.3	46.6	48.8	45.6
0.29	70.6	69.7	71.2	71	70.5	51.6	50.7	47.2	45.9	45.6
0.3	70	70.1	70.6	70.4	71.7	51.3	52.5	56.5	54.3	55.2
0.31	70.8	70	70.7	70.9	70.4	50.2	56.4	57.8	56.2	54.5
0.32	69.3	69.5	67.9	69	68.2	50.1	54.5	55.3	53.4	54.5
0.33	68.4	68.1	67.5	67.1	68	50.8	52.4	59	57	54.3
0.34	68.6	65	66.6	67.3	68.6	53.2	57.4	57.5	57.2	56.9
0.35	65	66.5	67	68.5	68.4	53.2	53	56.5	55.8	55.9
0.36	66.2	68.4	68.3	66.6	66.1	59.4	58.1	59.6	53.1	57.2
0.37	65	66.5	67.2	65.6	65.9	62.2	62	61.7	61.6	60.8
0.38	64.5	64.3	64.2	63.5	64	63.5	62.9	61.2	61.7	61.8
0.39	62.1	64	63.2	63.5	63.8	61.3	60.6	61.1	62.4	62.3
0.4	61.7	61.9	62.2	61.2	61.3	61.5	60.2	61.1	61.5	60
0.41	57.3	58.6	58.3	58.9	59.3	65	64.4	64.7	62.5	63
0.42	59.6	55.8	57.6	57.8	57.7	66	62	65.9	63.9	65.4
0.43	56.8	55.9	56	56.1	54.9	66.1	66.7	66.2	65.3	65.7
0.44	55.8	54	53.2	55	53.4	68	68.5	67.7	68.6	68.5
0.45	54.1	55.2	51.2	52.1	54	69.1	69	68.9	69.2	69.3
0.46	50.2	50.9	51.5	51.3	52.7	73.2	75.9	75.8	70.2	72.8
0.47	49	51.5	51.3	50.8	51.4	82	81	80	76.8	81.3
0.48	50.4	51.5	49.6	50.1	50.7	81.7	82.5	80.5	80.7	80.1
0.49	45.8	45.6	45	45.5	48.7	87.9	88	87	86.1	86.6
0.5	42	42.5	42.7	45.4	42.3	88.6	88.9	89.4	88.7	88.2
0.51	37.1	38.8	38.1	38.9	39	101.2	97.9	99.2	98.8	98.5
0.52	33.5	33	33.5	33.9	33.8	103.9	100.3	104.7	105.8	106.7
0.53	28.5	29	29.9	29.7	29.8	112.7	112.6	111.9	110.4	113
0.54	24.2	23.9	24	24.5	24	118	115.4	110	119.3	114.1

0.55	20	20.2	20.1	20.4	20.4	120.7	119.8	121.5	128.5	121.2
0.56	17.1	17.5	17	17	17.2	123.5	124	121.4	125.4	124.4
0.57	13.2	13.4	13.7	13.4	13.5	129.2	127.4	126.6	125.4	127.3
0.58	11.5	11.4	11.2	11.1	11.2	128.8	133.7	134	134.2	133.6
0.59	9.8	9	9.7	9.3	9.4	135.5	136.8	138.5	137.6	138.3
0.6	8.7	8.8	8.8	8.9	9	139.6	139	138.2	140.3	139.6
0.61	7.3	7.3	7.1	7	7.4	141.2	140.6	140.9	142.4	140.5
0.62	6.5	6.9	7	6.4	6.7	133.3	136.8	140	138.1	139
0.63	5.6	5.8	5.2	5	5.1	140.2	140.7	140.7	141.6	142
0.64	4	4.7	4.2	4.1	4.2	141.6	142	141.5	141.3	142
0.65	3.4	3.5	3.2	3.1	3	140.3	141	141.6	140.4	142
0.66	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	141.4	141.6	141.7	141.8	141.9
0.67	2.1	2.2	2.3	2	2.2	141.5	140.9	140	141.1	140.6
0.68	1.6	1.5	1.4	1.3	1.4	143	142.7	142.2	142.8	142.9

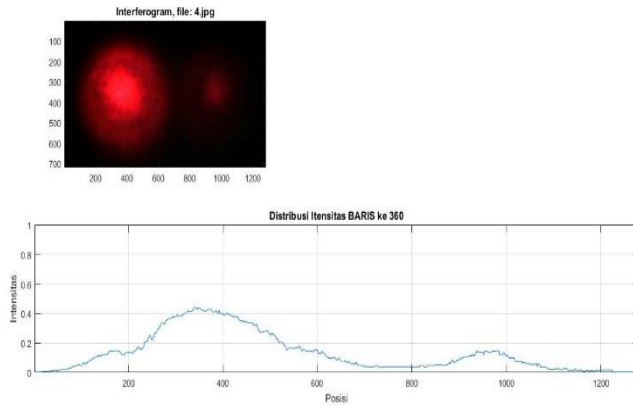
**Lampiran 2:** Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 Setiap Pergerakan



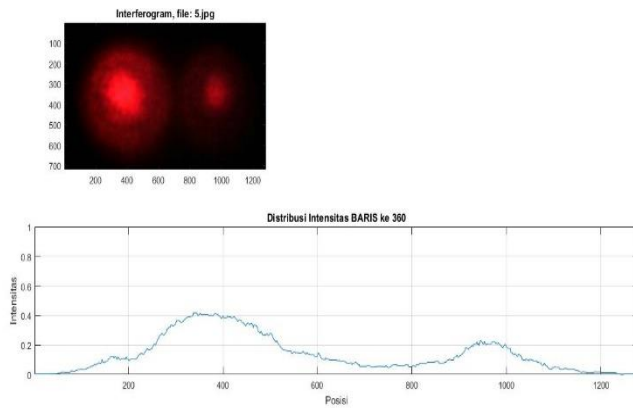
**Gambar 1** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,05 mm



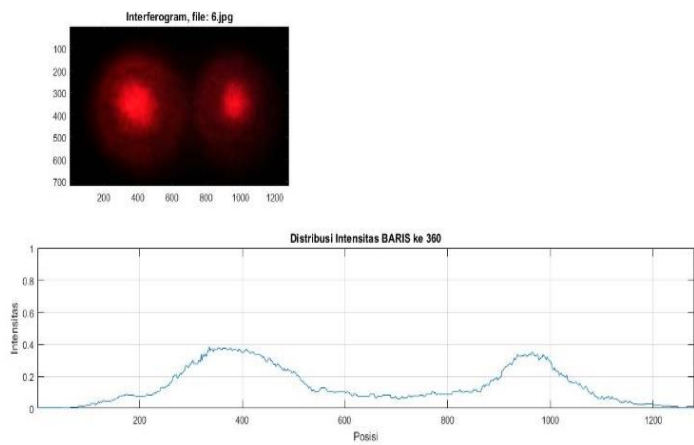
**Gambar 2** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,10 mm



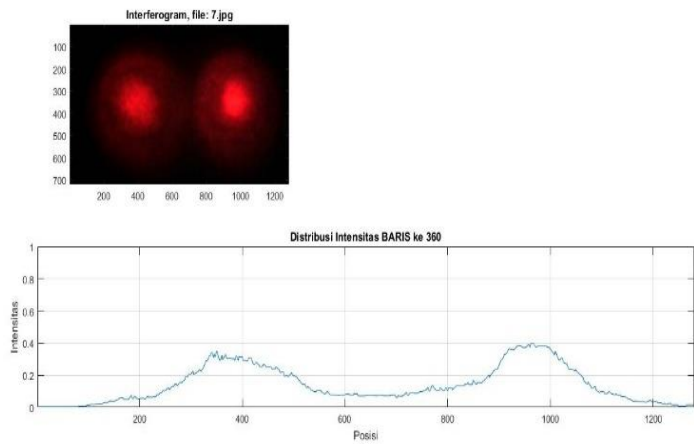
**Gambar 3** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,15 mm



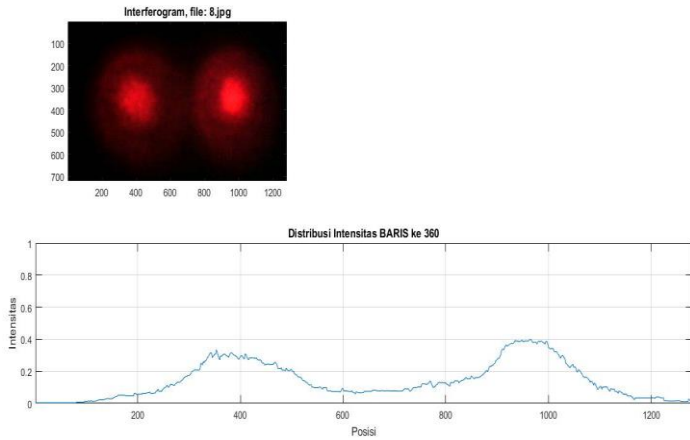
**Gambar 4** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,20 mm



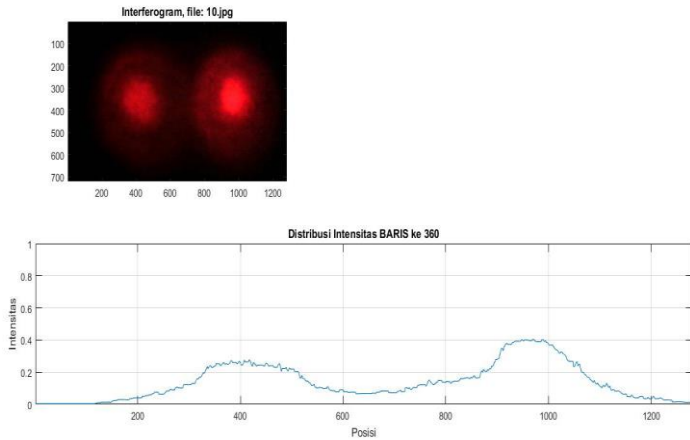
**Gambar 5** Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,25 mm



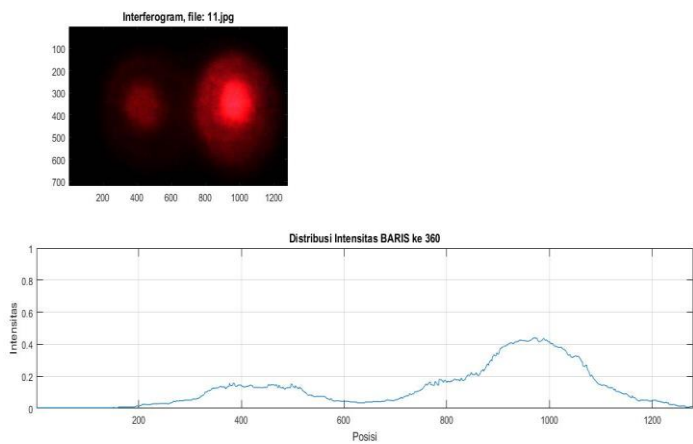
**Gambar 6** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,30 mm



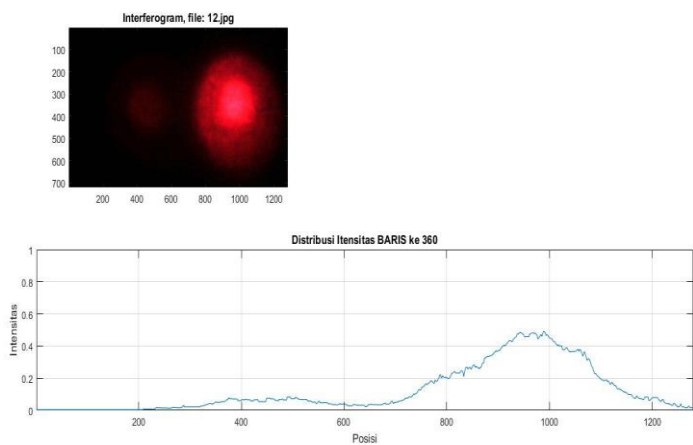
**Gambar 7** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,35 mm



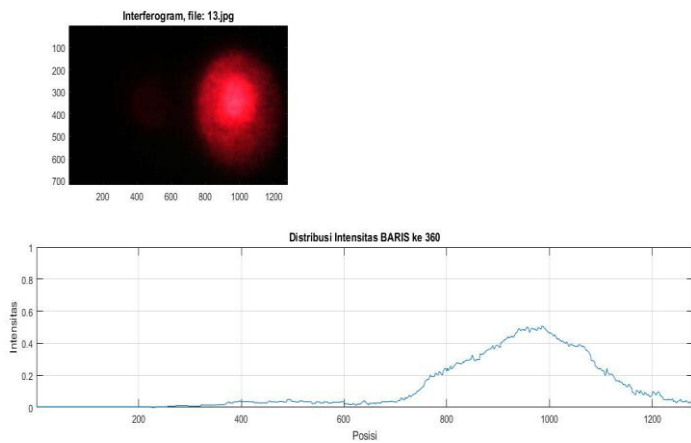
**Gambar 8** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,45 mm



**Gambar 9** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,50 mm



**Gambar 10** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,55 mm



**Gambar 11** Representasi Grafik Intensitas Citra Keluaran Serat Optik 1 dan Serat Optik 2 pada Pergeseran 0,60 mm



## BF5 Series

## Fiber Optic Amplifier

### Dual digital display type fiber optic amplifiers

#### ■ Features

- Dual-display for light incident level and setting value(BF5□-D)
- Minute object sensing available with 1/10,000 high resolution
- Enables to detect with high-speed(20,000 times per sec.) moving objects
- 4 response speeds
  - Ultra fast mode(50 $\mu$ s), high speed mode(150 $\mu$ s), standard mode(500 $\mu$ s), long distance mode(4ms)
- Long lasting amplifier regardless of element's life degradation or temperature change
- Multiple sensitivity setting modes available
  - auto tuning, 1 point(maximum sensitivity), 2 point, positioning teaching
- Up to 8 units enable to stack with mutual interference prevention function using side connectors
- Auto channel setting function for multiple installations
- Slim design(W10×H30×L70mm)

Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



#### ■ Specifications

Display type	Dual Display type			Single Display type
■ NPN open collector output	BF6R-D1-N	BF6G-D1-N	BF6B-D1-N	BF6R-S1-N
■ PNP open collector output	BF6R-D1-P	BF6G-D1-P	BF6B-D1-P	BF6R-S1-P
Light source	Red LED (660nm, modulated)	Green LED (530nm, modulated)	Blue LED (470nm, modulated)	Red LED (660nm, modulated)
Power supply	12-24VDC $\pm$ 10%			
Current consumption	Max. 50mA			
Operation mode	Light ON / Dark ON Selectable			
Control output	NPN or PNP open collector •Load voltage: Max. 24VDC •Load current: Max. 100mA •Residual voltage : NPN:Max. 1V, PNP:Max. 3V			
Protection circuit	Reverse polarity protection, overcurrent protection, surge absorption			
Response time	Ultra Fast : 50 $\mu$ s(only for dual display type), Fast : 150 $\mu$ s, 3TD : 500 $\mu$ s, Long : 4ms			
Display method	•Incident light level: Red, 4digit, 7Segment •SV : Green, 4digit, 7Segment •Main output indicator : Red LED			•Incident light level / SV : Red, 4digit, 7Segment •Main output indicator : Red LED
Display function	Incident light level / SV display [4,000/10,000 resolution], Percentage display, High/Low peak value display, Normal / Reversed display (only for dual display type)			
Sensitivity setting	Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (Auto tuning, 1 point, 2 point teaching, positioning teaching)			Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (auto tuning)
Mutual interference prevention	Max. 8 unit sets (Automatically set regardless of response time)			
Initializing	Initializing to factory mode			
Energy saving	Normal / Energy saving 1 / Energy saving 2			
Timer	OFF, OFF Delay, ON Delay, One-shot			
Insulation resistance	Min. 20M $\Omega$ (at 500VDC megger)			
Dielectric strength	1,000VAC 50/60Hz for 1 min.			
Vibration	1.5mm amplitude or 300m/s <sup>2</sup> at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each X, Y, Z directions for 2 hours			
Shock	500m/s <sup>2</sup> (approx. 50G) in each X, Y, Z directions for 3 times			
Environment	Ambient illumination: Incandescent lamp : Max. 3000 lx Sunlight : Max. 11000 lx (received illumination) Ambient temperature: -10 to 50°C, storage: -20 to 70°C Ambient humidity: 35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH			
Protection	IP40(IEC standards)			
Material	Case : PBT, Cover : PC			
Fiber cable	—			
Tightening torque	Min. 2kgf			
Accessory	Connector type wire(04, 3-wire, length: 2m) (AWG22, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 60, Insulator out diameter: $\phi$ 1.25), Side connector			
Approval	CE			
Unit weight	Approx. 20g			

※The temperature or humidity mentioned in Environment Indicates a non freezing or condensation environment.

PNP output model

Line-up

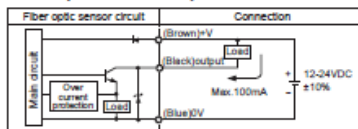


- (A) Photo electric sensor
- (B) Photo electric sensor
- (C) Diffuse reflection sensor
- (D) Proximity sensor
- (E) Proximity sensor
- (F) Battery encoder
- (G) Connected Robot
- (H) Robot controller
- (I) Battery power controller
- (J) Counter
- (K) Timer
- (L) Motor driver
- (M) Thermal Speed Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Switching mode power supply
- (Q) Resistor network, Offset controller
- (R) Display/ Logic panel
- (S) Photo electric device
- (T) Software
- (U) Other

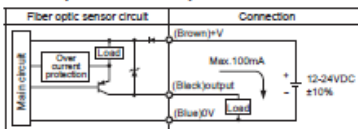
## BF5 Series

### Control output diagram

#### • NPN open collector output



#### • PNP open collector output

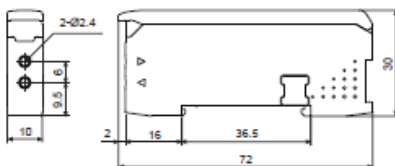


### Dimensions

#### • BF5□-D1-□



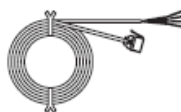
#### • BF5R-S1-□



(unit: mm)

#### • Accessories

- Connector type wire (length: 2m)



- Side connector



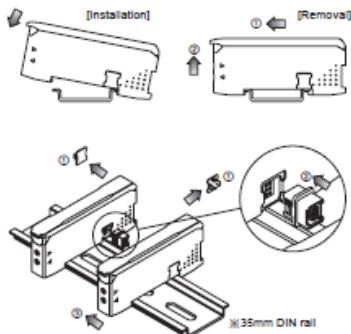
### Installations

#### ③ Amplifier unit mounting

- Installation: Hang up the backside holder on the DIN rail and press the unit toward the DIN rail.
- Removal: Slide the back part of the unit as the ① figure and lift up the unit as the ② figure.

#### ③ Amplifier unit connection

- Remove the side cover at the connecting side as the figure ① and connect the side connector as the figure ②.
- After mounting the unit on the DIN rail, push gently both units to fasten each other.
- ※ Make sure that connections between the unit case and connectors correctly. Improper connection may cause malfunction of channel setting and mutual interference prevention functions.
- ※ Do not supply the power while connecting / disconnecting amplifier units.



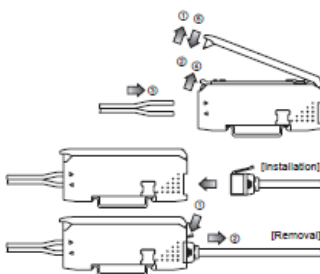
# Fiber Optic Amplifier

## ② Fiber cable connection

- ① Lift up the protective cover ① and push down the lock lever to the direction of ② to release the lock setting.
- ③ Insert the cable to the direction of ③ with slightly moving up and down 15°, and gently press into the unit until the cable is completely inserted (inserted length: around 13mm).
- ④ Lift up the lock lever to lock the lock setting ④ and close the protective cover to ②.

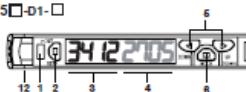
## ③ Wire connector connection

- ① Insert the connector into the amplifier unit until it clicks into right position.
- ② When removing the connector, pull out the connector to the ① direction with pressing the lever downside to the ② direction.



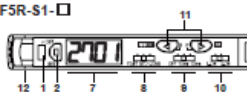
## ■ Part descriptions

### • BF5□-D1-□



- Control output indicator (Red)**  
: Used to indicate control output provided by comparing SV and actual incident light level.
- Sensitivity setting key**  
: Used to execute each operation and to set sensing sensitivity
- PV display part (4 Digit, Red, 7 segments)**  
: Used to indicate incident light level and parameters
- SV display part (4 Digit, Green, 7 segments)**  
: Used to indicate SV and setting data
- Up/down key**  
• Used to up/down setting values  
• Used to Fine-adjusting sensitivity
- MODE key**  
• Used to enter into program mode / data Bank mode  
• Used to move each parameter

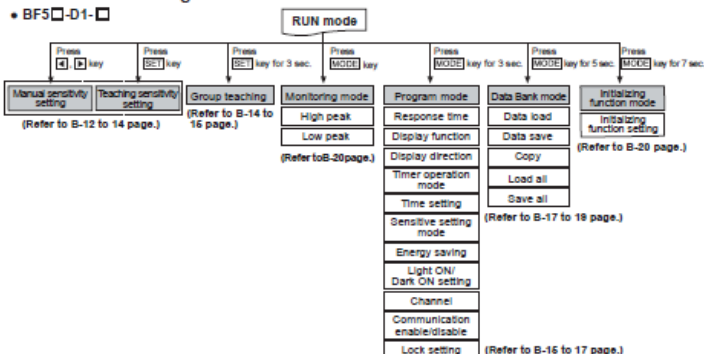
### • BF5R-S1-□



- PV/SV display part (4 Digit, Red, 7 segments)**  
: Used to indicate incident light level / SV and parameters
- Response time setting switch**  
: FAST, STD, LONG
- Timer setting switch**  
: Used to select OFF Delay time (OFF, 10ms, 40ms)
- Operation mode setting switch**  
: Used to select Light ON / Dark ON
- Up/Down key**  
• Used to up/down setting values  
• Used to enter into each mode  
• Used to Fine-adjusting sensitivity
- Look lever**

## ■ Parameter setting

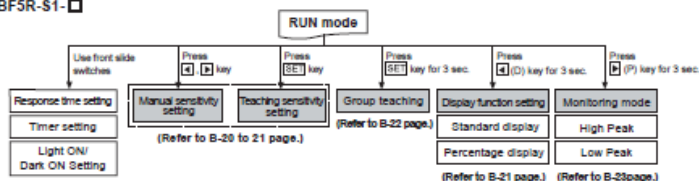
### • BF5□-D1-□



- (A) Photo electric sensor
- (B) Photo electric sensor
- (C) Describes sensor
- (D) Photoelectric sensor
- (E) Pressure sensor
- (F) Battery monitor
- (G) Connector Bracket
- (H) Temp. controller
- (I) WSI Power controller
- (J) Counter
- (K) Timer
- (L) Panel meter
- (M) Thermal Speed Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Switching mode power supply
- (Q) Signal processor
- (R) Graphic Light panel
- (S) Field network device
- (T) Software
- (U) Other

## BF5 Series

### • BF5R-S1-□



Dual display type (※Refer to B-12 to 20 page.)

### ■ Sensitivity setting mode

※ There are two methods available for sensitivity setting - manual/teaching sensitivity setting.  
Select the method most suitable for your application.

#### ③ Manual sensitivity setting (Fine-adjusting sensitivity)

- The setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjusting sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV display part during setting.



- ① Press the [F] and [F] keys to set the value.
- ② There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3 sec. after completing setting, last set value flashes twice (every 0.5 sec) and automatically saved it and returned to RUN mode.

#### ③ Teaching sensitivity setting (Auto-tuning, One-point, Two-point, Positioning)

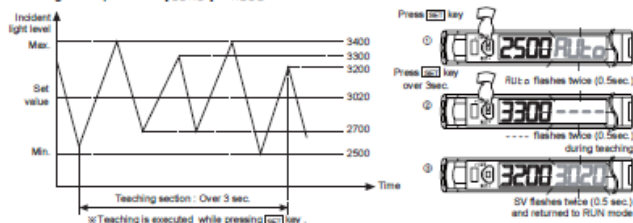
- How to enter into sensitivity setting mode in RUN mode  
Press the [SEN] key once and the selected teaching mode parameter flashes twice on the SV display part.  
※ Refer to [B-12 to 14] pages for each teaching sensitivity setting.
- Teaching should be executed for over 3 sec.
- ※ If teach mode is executed for less than 3 sec., teach mode parameter flashes twice and be on standby to execute completion of teach mode.
- Current incident light level is indicated on PV display part while teaching is in the process.
- If incident light level is received under 10 digit while teaching is in the process, it is automatically returned to RUN mode and previous setting value is retained after  $ERR$  flashes twice.
- ※ If there is no key operation for 60 sec after entering into teaching mode, it is automatically return to RUN mode.

##### 1) Auto-tune teach mode

- ※ Suitable when Incident level of sensing object is not stable or when sensing fast moving objects.
- ※ Auto-tune automatically sets the sensitivity using the average value of the incident light level within a certain time period.

$$\text{Set\_value} = \frac{P1+P2+\dots+Pn-1+Pn}{n}$$

- Set Teaching mode parameter[SEN5] to RUN.

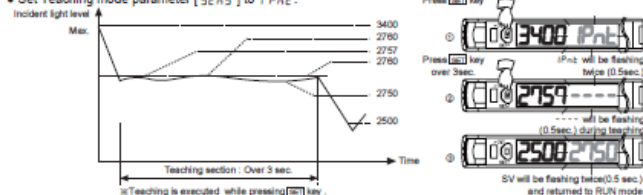


# Fiber Optic Amplifier

## 2) One-point teach mode

※ One of teaching modes that sets the maximum sensitivity by teaching one sensitivity setting point when setting the SV with no sensing object (Reflective) or when setting the SV with Incident light level 0 (Through-beam) / Suitable for the applications required little effect of dust or background.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 1 Pnt.



※ SV range for sensing distance.

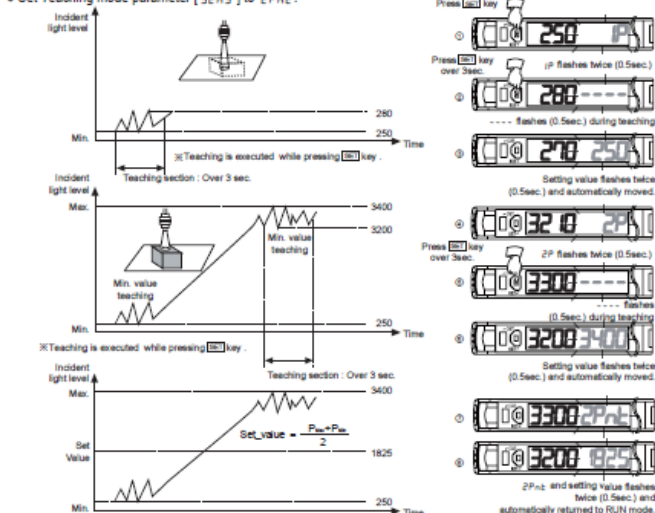
Response Time	Teaching when incident light level is 0	Teaching when incident light level is saturated
UP 5s	In case incident light level is 0, set to 10 digit.	In case incident light level is saturated, set to 3980 digit.
FS 1s		
SL 1s	In case incident light level is 0, set to 5 digit.	In case incident light level is saturated, set to 9980 digit.
LS 1s		

## 3) Two-point teach mode

※ Suitable when Incident light level is stable or when sensing object is slow or at stopped position.

※ One of teaching modes that sets the sensitivity using average value of two incident light levels obtained from two point teaching - one point with a sensing object and the other point without a sensing object.

- Set Teaching mode parameter [SEn5] to 2 Pnt.



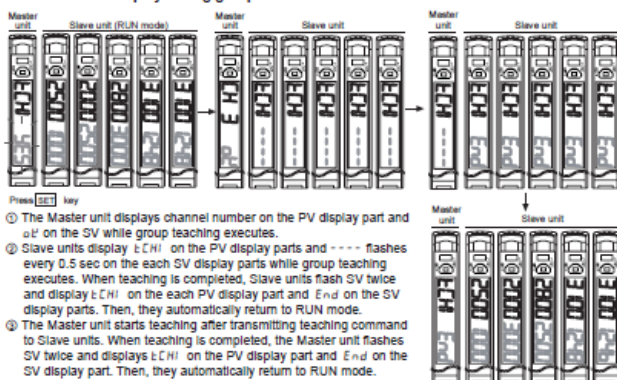
※ Make sure that two point teaching must be done within 60 sec after one point teaching. If not, teaching mode is cancelled and it returns to RUN mode.

- (A) Photo sensor
- (B) Photo sensor
- (C) Overline sensor
- (D) Proximity sensor
- (E) Pressure sensor
- (F) Rotary encoder
- (G) Encoder/Socket
- (H) Temp. controller
- (I) Power controller
- (J) Counter
- (K) Timer
- (L) Pixel meter
- (M) Tach. Speed Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Inducting mode power supply
- (Q) Sensor output/Over/Under
- (R) Graphical Light panel
- (S) Field network device
- (T) Software
- (U) Other



## Fiber Optic Amplifier

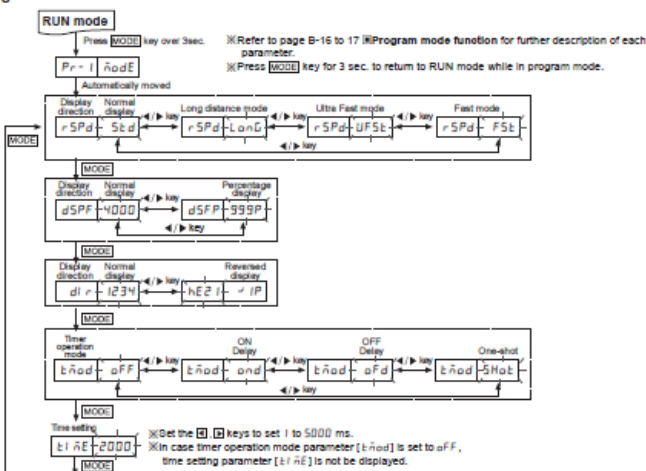
### • Master / Slave unit display during group teach mode



### ■ Program mode setting

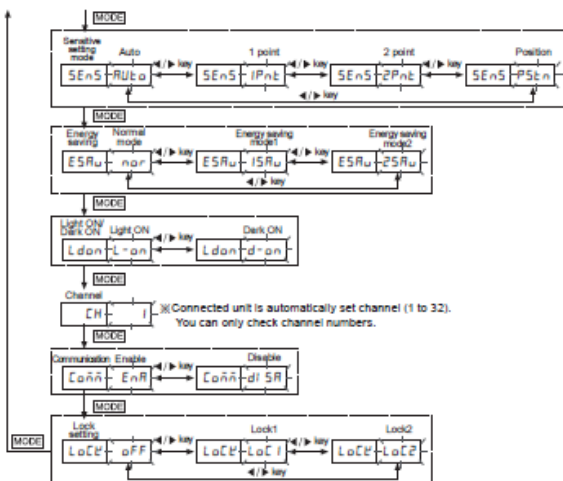
- When entering into program mode, parameters lights ON on the PV display part and setting values flashes every 0.5 sec. on SV display part. Use the **[←]**, **[→]** keys to set each setting value.
- Press the **[MODE]** key one time after setting each parameter to save each setting and enter into next mode.
- If the key lock is set, unlock the key lock before setting parameters.

#### ● Program mode flow



(A)	Photo electric sensor
(B)	Photo sensor
(C)	Dark/light sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector block
(H)	Trans. controller
(I)	Relay power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tactile Switch/Panel meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Relay output, Output Controller
(R)	Display/Logic panel
(S)	Field network device
(T)	Others
(U)	Other

## BF5 Series



### ■ Program mode function

#### Ⓒ Response time setting [r5Pd]

A function to set the response time of control output - 4 response modes selectable.

- Ultra Fast [UF5t] mode : 50 $\mu$ s
- Fast [F5t] mode : 150 $\mu$ s
- Standard [St d] mode : 500 $\mu$ s
- Long distance [LonG] mode : 4 ms

#### Ⓒ Display function [d5PF]

A function to select incident light level display mode on PV display window: Standard display [4000] / Percentage display [999P]

- Display range of standard mode : 0 to 4000 (0 to 9999, in case of long distance mode)
- Display range of percentage mode : 0P to 999P (Decimal point is not displayed)

#### Ⓒ Display direction setting function [dl r]

A function to reverse the display direction to suit the unit installation location: Normal display / Reversed display selectable.

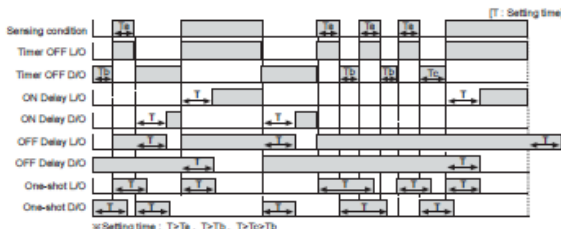
※ Reversed display is upside-down(180°) display of normal display.

#### Ⓒ Timer function [Timer operation mode: tñod, Time setting: tñE]

Used when external device's response time is too late or when control output time is too short due to small sensing object - 3 modes are available.

- Timer Off [oFF]
- On Delay [ond] : Delays control output ON time from OFF for a certain period of setting time
- Off Delay [oFd] : Delays control output OFF time from ON for a certain period of setting time
- One-shot [SHot] : Turns control output ON or OFF within a certain period of setting time
- Setting time [tñE] : 1 to 5000ms

#### • Time chart



※ Setting time : T>T<sub>a</sub>, T>T<sub>b</sub>, T>T<sub>c</sub>>T<sub>b</sub>



## Fiber Optic Amplifier

### Ⓢ Energy saving function [E5A0]

A function to save unit's power consumption by reducing power supply to display parts in case of no setting input within 60 sec.

- Selectable from 2 power saving modes
- Normal mode [nor]: Main output Indicator(OUT), PV/SV display part ON
- Energy saving mode 1 [1SA0]: Main output Indicator(OUT) and PV display part ON
- Energy saving mode 2 [2SA0]: Main output Indicator(OUT) ON

### Ⓢ Light ON / Dark ON switching function [Ldon]

A function to set Light ON - control output is ON when incident light level is higher than setting value Dark ON - control output is ON when incident light level is lower than setting value.

### Ⓢ Communication enable / disable setting function [Comn]

A function to set communication write [enable(EnA) / disable(dI SA)] for Slave amplifier units while certain instructions (Load/Save/Copy) or Group teaching is in progress by the Master amplifier unit.

### Ⓢ Lock function [LoC2]

Two types of key lock setting are available in order to prevent SV changes due to careless.

	oFF	LoC 1	LoC 2
Sensitivity setting	●	●	●
Data Bank mode	●	○	○
Program mode	●	●	○
Parameter initialization	●	○	○

- ※●: Check / Setting both available  
 ●: Check available  
 ○: Check / Setting both unavailable

- In case of [LoC2] mode, it is required to disable the lock function first to enter into parameter mode.

### ■ Data Bank setting

A function to save settings for group amplifier units in each data Bank by using Master unit's command or by adjusting one amplifier unit's setting and to load required data Bank when it is necessary without resetting for each unit's parameters and setting values.

- LOAD [LoAd]: Loads preset dataBank [bANK 0, 1, 2] and applies it to the amplifier unit.  
Detailed Bank parameters can be read and changed.
- SAVE [SAve]: Saves one amplifier unit settings in one of dataBank [bANK 0, 1, 2].
- COPY [CoPy]: Copies the currently loaded Bank by Master's instructions to the other amplifier unit (1:1) or the whole amplifier units (1: M).
- LOAD ALL [LoAL]: Selects one dataBank by Master's instructions loads it to entire group units.
- SAVE ALL [SAAL]: Selects one dataBank by Master's instructions and saves it in entire group units.

※For BFs-D1-□, three dataBanks are available ([bANK 0], [bANK 1] and [bANK 2]) so that three different sensing object information can be saved. Each Bank can be read and changed. It allows users to detect three different sensing objects with one amplifier unit without resetting each parameter.

※DataBank function can be executed only if all amplifier units are in RUN mode.

※Copy/Load All/Save All functions are applicable only if multiple amplifier units are connected.

※If lock function is set ([LoC 1/LoC 2]) on amplifier units or if the Slave unit is set to communication disable ([dI SA]), Load and Save command for the unit does not execute.

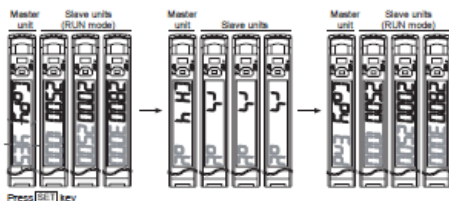
(A)	Auto electric sensor
(B)	Light sensor
(C)	Darkness sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Socket
(H)	Temp. controller
(I)	SSR Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Relay Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Stepper motor/ Direct Controller
(R)	digital/ Logic panel
(S)	Field effect device
(T)	Software
(U)	Other



## Fiber Optic Amplifier

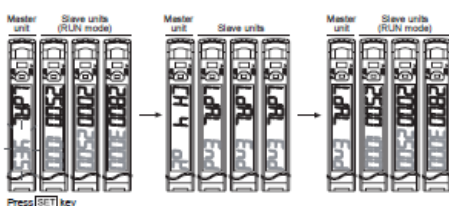
## © Master / Slave unit display during data Bank setting

## • Copy All



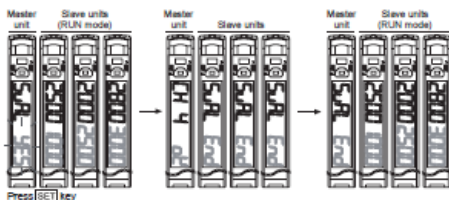
- While Copy All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **01** on the SV display part.
- While Copy All is executed, the Slave units display **r n** on the PV display part and **01** on the SV display part and they return to RUN mode.
- When Copy All is completed, the Master unit displays **CH 1** on the PV display part and **01** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Data Copy mode. ※In case of 1:1 Copy, it progresses as same.

## • Load All



- While Load All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **01** on the SV display part.
- While Load All is executed, the Slave units display **Ld RL** on the PV display part and **01** on the SV display part and they return to RUN mode.
- When Load All is completed, the Master unit displays **CH 1** on the PV display part and **01** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Load All mode.

## • Save All



- While Save All is executed, the Master unit displays the channel number on the PV display part and **01** on the SV display part.
- While Save All is executed, the Slave units display **Su RL** on the PV display part and **01** on the SV display part and they return to RUN mode.
- When Save All is completed, the Master unit displays **CH 1** on the PV display part and **01** on the SV display part. Press the **[SET]** key to return to Save All mode.

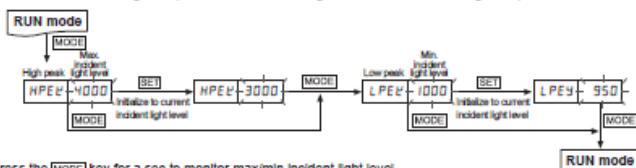
※If communication write enable / disable parameter [**05A**] for the Slave unit is set to disable **01 5H** while Save All, Load All or Copy is executed, the master unit displays channel number on the PV display part and **01 5H** on the SV display part.

(A)	Probe electric sensor
(B)	Probe sensor
(C)	Over/Under sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector/Reel
(H)	Temp. controller
(I)	Start/Power controller
(J)	Control
(K)	Tracer
(L)	Potential meter
(M)	Tachist/Speed/Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Shutter motor/Driver/Controller
(R)	Integrated Logic panel
(S)	Panel network device
(T)	Software
(U)	Other

## BF5 Series

### High peak, Low peak function

A function to monitor the high/low peak value of incident light level. The monitored high/low peak value can be initialized.



- ① Press the **MODE** key for a sec to monitor max/min incident light level.
- ② Press the **MODE** key to initialize max/min value to current incident light level during monitoring.
- ③ Press the **MODE** key to return to RUN mode.

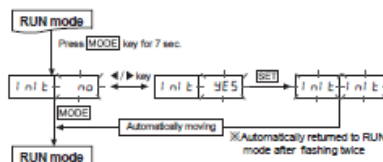
### Initializing function

A function to initialize all parameters in memory to default value in case the possibility of mis-setting or mis-operation.

※ Set lock function [L ock] to OFF to execute Initializing Function.

※ High peak value[HPEV] and low peak value[LPEV] shall not be initialized.

#### Parameter initialize flow



- ① Press the **MODE** key for 7 sec. In RUN mode, **Init** parameter turns ON on PV display part and **no** flashes every 0.5sec. on SV display part.
- ② Press the **MODE** key once again to return to RUN mode without executing Initializing Function.
- ③ Select **YES** using the **[Left]**, **[Right]** keys and press the **SET** key. **Init** flashes twice on both PV and SV display parts.
- ④ When parameter initialization is completed, it is automatically returned to RUN mode.

#### Parameter value for initialization (factory default)

Parameter	Factory default	Parameter	Factory default	Parameter	Factory default
rSPd	Std	tnsd	oFF	Ldan	L-on
dSPF	4000	SEnS	Rtbe	LoAn	EnR
dI r	1234	ESRu	nar	LoEV	oFF

SV : 2000, Bank 0 to 2 : initialized

#### Single display type (※Refer to B-20 to 22 page.)

### Sensitivity setting mode

※ There are two methods available for sensitivity setting - manual or teach mode.  
Select the method most suitable for your application.

#### Manual sensitivity setting (Fine-adjusting sensitivity)

- The setting is to set the sensitivity manually.
- Used to fine-adjust sensitivity after the teaching sensitivity setting.
- Incident light level is still displayed on the PV/SV display part during SV setting.



- ① Press the **[Left]** or **[Right]** key once in RUN mode, then previous SV flashes twice (every 0.5 sec.).
- ② Press the **[Left]** and **[Right]** keys to set the value.
- ③ There is no additional key for completing the setting. If there is no key input for 3 sec after completing setting, newly set value flashes twice (every 0.5 sec) and automatically save it and returned to RUN mode.

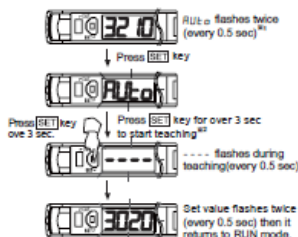
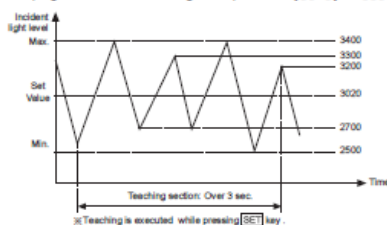
# Fiber Optic Amplifier

## Teaching sensitivity setting(Auto tuning teaching)

- For BF5R-S1-□ model, teaching sensitivity setting mode is fixed to auto-tuning.
- This mode is easy the sensitivity when incident light level of sensing object is not stable or moved fast.
- One of teaching modes that sets the sensitivity using average value of the maximum and minimum incident light level within a certain time period.

$$\text{Set\_value} = \frac{P1+P2+\dots+Pn-1+Pn}{n}$$

- In program mode, set Teaching mode parameter [SEN5] to RUN.



- If incident light level is received under 10 digit while teaching is in the process, **ErrL** flashes twice and it returns to RUN mode with the previous SV retained.
- After flashing **RUN** twice, press the [SET] key to return to RUN mode without teaching.
- Press the [SET] key over 3 sec in order to get more reliable teaching value.

## Function

### Response time setting

Use front slide switch to set response time.

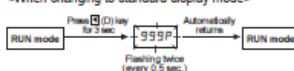
- Fast(FST) mode : 150μs
- Standard(STD) mode : 500μs
- Long distance(LONG) mode : 4ms

### Display function (Factory mode: standard display)

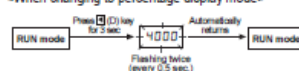
A function to select incident light level display on display part.

- Display range of standard mode : 0 to 9999 (0 to 9999. In case of long distance mode)
- Display range of percentage mode : 0P to 999P (Decimal point in not displayed)

<When changing to standard display mode>



<When changing to percentage display mode>



### Timer function

- For the BF5R-S1-□ model(single display type), only OFF Delay mode is available. Select the setting time (OFF/10ms/40ms) using the front slide switch.

#### Time chart



(A)	Photo electric sensor
(B)	Photo sensor
(C)	Distance sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Switch
(H)	Temp. controller
(I)	Relay/Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tactical Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power supply
(Q)	Shutter control/Driver/Controller
(R)	Stripped Light panel
(S)	Panel network device
(T)	Software
(U)	Other

## BF5 Series

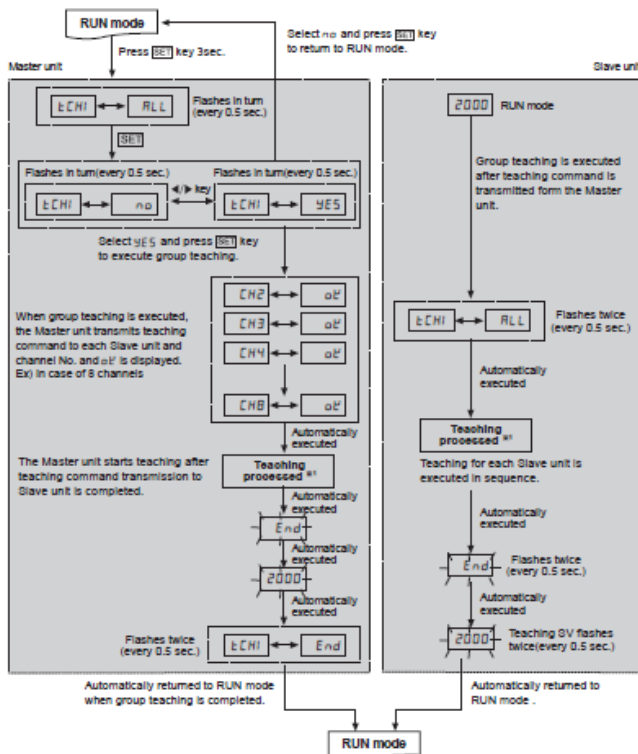
### ◎ Light ON / Dark ON switching function

A function to set Light ON - control output is ON when incident light level is higher than setting value and Dark ON - control output is ON when incident light level is lower than setting value.

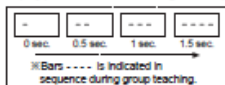
BF5R-S1-□ (Single display type) model uses the front slide switch to set each mode.

### ■ Group teaching

A function to set the sensitivity of Slave amplifier units according to the command of Master amplifier unit (a certain amplifier unit) in a successive and collective way.



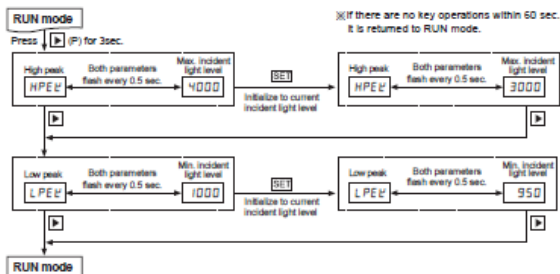
※1: Display part status while teaching is in the process



## Fiber Optic Amplifier

### High peak, low peak function

A function to monitor the high/low peak value of incident light level. The monitored high/low peak value can be initialized.



### Dual display / Single display common features

### Program mode function

#### Amplifier units connection using side connector

In case multiple amplifier units are connected, the power supply for one unit will feed all connected units.

#### Auto channel setting function

- The channel for each amplifier unit - connected by side connector - is automatically set in a certain direction (→) as soon as power is supplied. Channel number is increasing one by one.
  - Auto set channel can be checked in channel parameter in program mode.
  - In case of BFSR-S1-□ auto set channel can be checked only when initial power is supplied. (Not available afterwards).
  - Channel range : 1 to 32 (applied the same to all models)
- ※Note that auto set channel cannot be changed and the channel No. of each amplifier unit is not saved in case of power OFF.

#### Mutual interference prevention function

A function to set different light receiving time for each amplifier unit in case of adjacent fiber cable. Installations in order to prevent mutual interference occurring. (Set automatically when power is turned ON.)

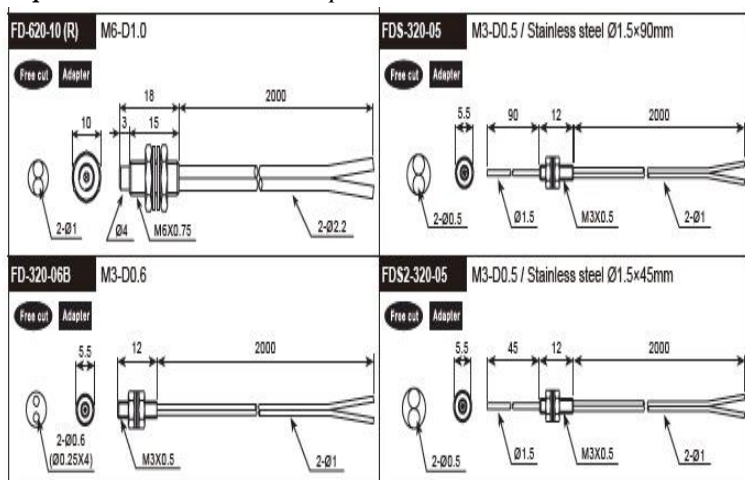
※Mutual interference function is allowed up to maximum 8 amplifier units regardless of the unit model and response time.

### Error code

Error code	Cause	Troubleshooting
ErrL	In case incident light level is below the min. range when teaching.	Increase the incident light level above min. range.
Err	In case overcurrent inflow occurs into output circuit.	Remove overcurrent due to overload.
Errb	<ul style="list-style-type: none"> <li>In case Slave is failed to execute Master's instructions due to unstable communication line connection during Group Copy / Load / Save / Teaching.</li> <li>In case other communication errors occur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Check amplifier unit's connection again.</li> <li>Check circuit and hardware around side connector.</li> </ul>

(A)	Output electric sensor
(B)	Input electric sensor
(C)	Overcurrent sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connected Robot
(H)	Teach controller
(I)	SSR/Power supply controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Position meter
(M)	Tachist Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Reducing mode power supply
(Q)	Resistor network Output/connector
(R)	Graphics/Logic panel
(S)	Field address device
(T)	Software
(U)	Other

## Lampiran 4: Datasheet Fiber Optic FD-620-10



B-46

Autonics

## Fiber Optic Cable

### ■ Specifications (Diffuse Reflective Type)

(based on Non-glossy white paper)

Type	Appearance	Feature	Model	Sensing distance (mm)	Min. sensing target <sup>※3</sup>	Allowable bend radius	Cable length (L) <sup>※4</sup>	Temp.
		M6 Bolt	FD-620-10	120 <sup>※2</sup>		R30		
		M6 Bolt SUS type (90mm)	FDS-620-10			30R (SUS part 10R)		
		M6 Bolt SUS type (45mm)	FDS2-620-10					
		Plastic	FDP-320-10			R30		

※1: The sensing distance is a standard for BF5 Series.

※2: The sensing distance is a standard for red LED of BF4 Series and 10% of red LED is applied when it is green LED.

It is applied to 40% of sensing distance for BF3RX.

※3: Min. sensing target is a value measured opaque material in accurate output status and the sensing distance is different with the rated sensing distance ※2.

※4: Fiber optic cable out of the rated length can be customizable.


※5: ● **Flexible optical fiber (Multi core)** : A large number of ultra-fine cores are all surrounded by cladding. Easy to install it in the many places as the change of the intensity of radiation by bending is small.

● **Break-resistant optical fiber** : The fiber units contain a large number of independent fine fibers, by ensuring a high degree of flexibility. It can be used for moving parts (robot hand) and it is not easily broken.

※ **Free cut** : The sensing distance can be shortened about max. 20% than the normal according to condition of the cable. (FC-3) should be used for cutting fiber cable.]



Lampiran 5: Datasheet Luxmeter VICTOR 1010A

Specifications/Technical features	
Please carefully read this User's Manual before you operate the Victor 1010A digital luxmeter and grasp the important information and proper use of the Victor 1010A digital luxmeter. This Digital luxmeter is a portable instrument for measuring illuminance and foot-candle. It is designed for use in a wide range of applications. It is a portable instrument for measuring illuminance and foot-candle. It is designed for use in a wide range of applications. It is a portable instrument for measuring illuminance and foot-candle. It is designed for use in a wide range of applications.	
<b>1. Specifications</b> 1. Spectral response: Illuminance measuring unit: Lux 2. Measuring range: 0.1 Lux to 2000 Lux 3. Accuracy: ±1.5% of reading + 0.1 Lux 4. Resolution: 0.1 Lux 5. Power supply: 1.5V AAA battery (not included) 6. Operating temperature: -10°C to 40°C 7. Storage temperature: -20°C to 60°C 8. Dimensions: 110mm (L) x 60mm (W) x 30mm (H) 9. Weight: 150g (without battery)	
Technical features	
1. Measuring range: 0.1 Lux to 2000 Lux	2. Accuracy: ±1.5% of reading + 0.1 Lux
3. Resolution: 0.1 Lux	4. Power supply: 1.5V AAA battery (not included)
5. Operating temperature: -10°C to 40°C	6. Storage temperature: -20°C to 60°C
7. Dimensions: 110mm (L) x 60mm (W) x 30mm (H)	8. Weight: 150g (without battery)
Appearance	
	
Operating instructions	
<b>1. Preparing the instrument</b> 1.1. Check the battery level. The battery level is indicated by the battery icon on the LCD display. If the battery is low, replace it with a new 1.5V AAA battery. 1.2. Turn on the instrument. Press the power button on the back of the instrument. 1.3. Select the measurement unit. Press the unit button on the back of the instrument to select between Lux and foot-candle. 1.4. Zero the instrument. Press the zero button on the back of the instrument to set the display to zero. 1.5. Measure the illuminance. Hold the instrument with the sensor head pointing towards the light source. The display will show the measured illuminance.	
Precautions	
<b>1. General precautions</b> 1.1. Do not use the instrument in a wet or damp environment. 1.2. Do not use the instrument near strong magnetic fields. 1.3. Do not use the instrument near high-voltage power lines. 1.4. Do not use the instrument near heat sources. 1.5. Do not use the instrument near fluorescent lights. 1.6. Do not use the instrument near incandescent lights. 1.7. Do not use the instrument near LED lights. 1.8. Do not use the instrument near laser lights. 1.9. Do not use the instrument near ultraviolet light. 1.10. Do not use the instrument near infrared light. 1.11. Do not use the instrument near radio waves. 1.12. Do not use the instrument near microwave radiation. 1.13. Do not use the instrument near electromagnetic interference. 1.14. Do not use the instrument near electromagnetic fields. 1.15. Do not use the instrument near electromagnetic waves. 1.16. Do not use the instrument near electromagnetic radiation. 1.17. Do not use the instrument near electromagnetic energy. 1.18. Do not use the instrument near electromagnetic power. 1.19. Do not use the instrument near electromagnetic force. 1.20. Do not use the instrument near electromagnetic pressure. 1.21. Do not use the instrument near electromagnetic stress. 1.22. Do not use the instrument near electromagnetic strain. 1.23. Do not use the instrument near electromagnetic tension. 1.24. Do not use the instrument near electromagnetic compression. 1.25. Do not use the instrument near electromagnetic shear. 1.26. Do not use the instrument near electromagnetic torsion. 1.27. Do not use the instrument near electromagnetic bending. 1.28. Do not use the instrument near electromagnetic twisting. 1.29. Do not use the instrument near electromagnetic stretching. 1.30. Do not use the instrument near electromagnetic shrinking.	
Features	
<b>1. Basic features</b> 1.1. Portable design for easy carrying. 1.2. Large LCD display for easy reading. 1.3. Backlighting for use in low light conditions. 1.4. Auto power off to save battery life. 1.5. Low battery warning. 1.6. Unit selection (Lux/foot-candle). 1.7. Zero adjustment. 1.8. Hold function. 1.9. Data hold function. 1.10. Memory function. 1.11. Auto range. 1.12. Peak hold. 1.13. Min hold. 1.14. Max hold. 1.15. Average. 1.16. Standard deviation. 1.17. Variance. 1.18. Coefficient of variation. 1.19. Correlation coefficient. 1.20. Regression equation. 1.21. Residual sum of squares. 1.22. Total sum of squares. 1.23. Error sum of squares. 1.24. Degrees of freedom. 1.25. F-value. 1.26. T-value. 1.27. P-value. 1.28. Chi-square. 1.29. Z-value. 1.30. U-value. 1.31. W-value. 1.32. V-value. 1.33. X-value. 1.34. Y-value. 1.35. Z-value. 1.36. U-value. 1.37. W-value. 1.38. V-value. 1.39. X-value. 1.40. Y-value.	



Intelligent Auto Digital Light Meter

User's Manual

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizky Firmansyah yang lahir pada tanggal 16 Mei 1996. Penulis berasal dari kota Sidoarjo dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Janti 1 Waru Sidoarjo, SMPN 2 Waru Sidoarjo, dan SMAN 1 Waru Sidoarjo. Penulis diterima di Jurusan Fisika FIA-ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN Undangan dengan NRP 1114100058. Selama menjadi mahasiswa ITS, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa yaitu STAFF BEM Fakultas Ilmu Alam (2015-2016) dan UKM Badminton Fisika ITS (2016). Dalam hal akademik, penulis mengambil Bidang Studi Optoelektronika di Jurusan Fisika FIA ITS dan pernah turut andil dalam kegiatan Fisika Laboratorium sebagai Asisten Laboratorium Optoelektronika dan kegiatan penelitian PKM-P didanai DIKTI. Harapan penulis adalah karya Tugas Akhir ini dapat menjadi inovasi kepada pembaca untuk berkarya lagi dalam berbagai bidang khususnya bidang optoelektronika. Akhir kata apabila ada kritik dan saran dapat menghubungi penulis melalui *email* ke [rfirman1605@gmail.com](mailto:rfirman1605@gmail.com).